诗意的宇宙

Das All und das Nichts



蔷薇、时空与21世纪物理学

Von der Schönheit des Universums

Stefan Klein

〔奥〕斯特凡·克莱因 著

陈铁荣 译 王一帆 审校



中信出版集团

版权信息

书名:诗意的宇宙：蔷薇、时空与21世纪物理学

作者:[奥]斯特凡·克莱因

ISBN:9787521707144

中信出版集团制作发行

献词

谨以此书纪念

我的父亲是

他向我展示了这一切

1 真实的诗意 宇宙大爆炸

通过一枝蔷薇，我们能够意识到，

世间万物均不是孤立存在的。

我们愈了解宇宙万物的联系，

就愈能感受到这个世界的神秘莫测。

越接近真实，真实就越显得神秘。令人诧异的是，质疑这一点的恰恰是些善感的人。一位著名的德国抒情诗人就曾在某座谈节目上反驳我说，人们对基因的认识越来越深入让他感到懊丧，因为在他看来，这个解码的过程会使人类变得无趣。而美国的神秘文学名家埃德加·爱伦·坡（Edgar Allan Poe）也把科学比作诗意的掠食者：

为何觊觎诗人的心脏？

秃鹫，你的羽翼不过是干瘪的真实（注）

这实在是个误解！诚然，诗人们担心事物会因为科学探索而失去本身的魅力，但这种恐惧其实是因为错把对世界的科学探索当成了寻找复活节彩蛋，以为所有藏好的蛋都迟早会被找出来。恰好相反，真正的认识会不断地抛出更多疑问，超出人类的解答能力。

伟大的美籍物理学家理查德·费曼（Richard Feynman）有一位艺术家朋友。这位朋友曾问他，难道科学家在研究蔷薇的时候，不是在破坏它的美吗？费曼答道，他完全能够体会艺术家所感受到的美，但他还可以看到更深层次的美，一种只有通过深入的认识才能发掘的美。例如，花在进化过程中形成色素以吸引昆虫，这是一种美。而这一知识又引出了新的疑问，例如，昆虫是否也有美学？更准确的认识并不会抹煞花的美感，反倒会增添美感，使蔷薇愈发摄人心魄、神秘莫测。

费曼甚至可以继续补充：即使事物一开始显得丑陋甚至令人厌恶，研究人员也能够用敏锐的目光从中发掘出美。蔷薇枯萎，意味着它的衰弱。但再仔细观察，会发现枯萎的花底正悄然孕育着蔷薇的果实。而果实中的每一粒种子，本身就是一个奇迹。因为，每粒种子里都有蔷薇完整的胚胎，它正在等待时机，等待着吸饱水分、长大、胀破种皮，最终向阳光舒展子叶。

蔷薇的萌发需要光、水分和氧气。其中所需的空气是单细胞生物在很久之前留下的遗产。将近30亿年前，这些单细胞生物就像厚厚的蓝绿色垫子一般覆盖着海底，并存活至今。当时，地球的大气中几乎没有氧气，假使存在更高等的生物，也会窒息而死。这些单细胞生物大多只有几微米。与蔷薇相比，这种被称为蓝细菌（*Cyanobacteria*，旧名蓝藻）的生物虽然显得十分原始，但堪称大自然的杰作。有一部分蓝细菌甚至能够看得见！它们体内有一个微小的晶状体，像简易摄像头，赋予它们区分明暗的能力。它们能够避开黑暗，向光源移动。它们利用太阳光获取能量，就像植物进行光合作用一样。这些蓝细菌定居原始海洋以后，逐渐把溶解在海洋中的二氧化碳转化为氧气。十几亿年间，一个个微小的氧气泡从海底向上升腾。就这样，这些能看得见的蓝细菌为蔷薇的萌发制造了空气，为更高等的生物塑造了一个宜居的地球。

蓝细菌本身又由一些更古老、更简单的生命发展而来。这些生物同样不需要氧气就能存活，早在38亿年前就生活在地球上。没有它们，我们或许就没有机会看到蔷薇。而这些生命从何而来？问题的答案尚无从知晓。

蔷薇需要的水从哪里来呢？水分形成的历史要追溯到空气形成之前。在很长一段时间里，人们都认为早期的地球内部会散发出蒸汽。但这些水分要如何才能进入地球内部呢？地球形成时，内部应该是个封闭的空间：45亿年前，围绕太阳旋转的碎石和尘埃聚合成为行星，地球就是由这些靠近太阳、正向太阳聚拢的物质构成的。但是，这些碎片不够潮湿，不足以使地球变成蓝色的海洋星球，所以这种假设几乎是不可能的——太阳附近的高温足以烘干水分。

那么，地球最初就是一个干燥的荒漠星球。没有人确凿地知道它是如何成为海洋星球的。在众多推测中，最天马行空的一种情形恰恰可能性最大：水分从宇宙中来。那些在太阳系较寒冷地带形成的彗星和小行星，带着水分，像巨大的雪球一般砸在地球这个荒漠星球上。上面的冰融化成湖泊、河流、海洋。因此，濡湿蔷薇花瓣的，是来自浩瀚宇宙的露珠。

蔷薇所需的阳光，归根结底来源于强相互作用力。虽然这个自然界最强大的基本力名字毫不显山露水，但它在间距很远时力量之大，使其他自然力都不能望其项背。它能够使原子核紧紧地聚合，在太阳内部，这种力量被释放：氢的原子核在那里聚变为氦，同时会释放巨大的能量，向宇宙空间辐射。而作为燃料的氢元素是所有物质中最古老的，自宇宙大爆炸的第一分钟，它就已然在宇宙间游荡。在恒星的烈焰中，再通过强相互作用力，所有其他元素以氢为基础生成了。所以，地球上围绕在我们周围的一切物质，都曾是恒星的星尘。幼苗的组成成分碳元素也是从它而来的，因此，

蔷薇可以说是变幻后的星尘。

创造了蔷薇的恒星，则诞生于氢云。在自身引力的作用下，氢云不断浓缩，直至燃烧：这就是最初的星光。那么，恒星是自发诞生的吗？人们长久以来是这样认为的。但如今我们知道，恒星的诞生需要借助外界力量。也就是说，宇宙中的氢仅凭自身引力不足以团聚为氢云。如果没有外界力量，氢就只会均匀分布在宇宙之中，如同糖分融入水中，气体也不可能浓缩，亦不会有任何恒星当空闪耀。宇宙将保持混沌。

必定有一些更重的物质，一些我们不了解的物质开了头，将氢聚拢成氢云。这些物质不发光、不可见，因此被称为“暗物质”。没有人了解它们由什么组成、有什么性状。

理查德·费曼，也就是那位思考蔷薇之美的先生，已无缘得知其中的诸多奥妙。1988年，这位20世纪的重量级科学家离开了人世。但几十年来，我们已大大加深了对宇宙结构的认识，能够粗略描述前至宇宙诞生后十亿分之一秒的历史。我们认识了太阳系外的宜居行星，发现了40光年之外有一个包含7颗类地行星的星系。我们不禁推测，群星闪耀的夜空里还暗藏着更多行星。我们还发现了一些物理现象，挑战着我们对时空的认识。

不久前，这些认识还只是一些大胆的推测，如今通过精确到小数点后几位的测量验证，它们均已成为事实。

当然，我们的认识不过是未知海洋上的一座小岛。如果我们能够成功扩大这座小岛的面积，海岛的海岸线也会随之延长，迎接我们的将是更多未知。因此，无论产生了多么震撼的洞见，难题不会变少，更不会变简单。人们会想知道，在宇宙诞生后的十亿分之一秒内发生了什么？思考宇宙大爆炸之前发生的事情，这有没有意义？宇宙的其他地方是否真的存在生命？时间和空间只是幻觉吗？本书探讨的正是这些话题。书里描述了21世纪物理学如何彻底改变了我们的思维方式以及我们的世界观。阅读本书，需要的不是知识储备，而是一种勇气，去揭开我们习以为常事物的面纱。新世界的大门会向我们敞开，正如英国生物学家J.B.S.霍尔丹（John Burdon Sanderson Haldane）所说：“它的疯狂程度远超预想，甚至根本无从想象。”接下来的文字将邀请读者一同前往神奇的真实世界，我们已置身其中并将为之惊奇。因为，一朵蔷薇绝非像看起来的那么简单，它见证了世界的形成。

---

1. 本句选自诗人的十四行诗《致科学》。——译注（如无特别标注，脚

注皆为译注）

2 宇宙万有中的石球 宇宙微波背景辐射

地球从月亮后头升起，

宇宙初生的景象展现在我们眼前。

在可见的世界万象背后，藏着多少更广阔的空间。

真实，与我们感知到的大不相同。

……因一切知识与惊奇皆是纯粹喜悦之表达。

——弗朗西斯·培根（Francis Bacon）

在我最早的童年回忆里，父亲往家里抬一个大纸板箱的情形仍历历在目。我先是看见他的后背退到门里，随后看到那个纸板箱，最后看见我父亲的朋友正帮忙抬着纸板箱的另一头。“这是什么？”我母亲问道。“我给家里买了台电视机。”父亲回答。母亲很恼火，她可不愿成天看见这么丑的机子。父亲辩解道：“他们正登月呢。”

父亲拿来一把锯子，打开卧室里深色柜子的门。这柜子是件贵重的老家具，我们小孩子是碰不得的。柜子里还有个家用酒橱，父亲搬出里头的酒，拿起锯子在柜子里头忙活起来。他锯掉了这宝贝柜子里头的几块木板，腾出足够的空间把电视机放进去。只要关上柜门，就看不见电视机了。

柜子里随即传出了宇航员们的声音。虽然我听不明白他们那些叽里呱啦的指令，但那金属质感的声音令我印象深刻。而且，有两幅画面至今仍刻在我的脑海里。在其中一个场景里，有两个身影从屏幕上一闪而过，那身影泛着鬼魅的白光，看不到脸，面部挡着一块玻璃罩，身后的灰色背景里有一面旗。虽然他们背着巨大的背包，但他们蹦跳着，好似完全没有重量。父母提到，月球上的重力仅仅是地球上的六分之一。我一听也跃跃欲试。当时我四岁。

在另一幅画面的正中央，有一颗石球被照亮了一半，漂浮在一片黑暗之中。虽然我们家当时的电视机是黑白的，但在我的脑海里，它的蓝浓得几乎令人目眩。这一定是因为后来我又在其他插画和书籍里看到了它的图

片，并将它们与当时的电视画面重叠了，于是，记忆中的电视画面也染上了这种色彩。蓝色之上有白色的涡流闪耀着微光，球体的左边有一大块轮廓分明的棕色，而整个电视画面的前景却是单调的赭色沙漠。丘陵和环形山连成山脉，一直延伸到地平线，尽头之上才是那颗石球。难以想象在这大片赭色的荒芜之中，过去和未来会有生命踏足。

卧室里这个有200年历史的柜子里放映着的，是在月球上观察地球升起的画面，由阿波罗11号发回。我已记不清楚在1969年7月，当这些图像闪烁在我们家那块荧幕上时我的反应。但此后每每碰到这些画面，我的感受都会更加强烈。这便是我们宇宙中的家园——浩瀚无垠的夜空里一颗孤独而微小、脆弱而美丽的星球。仔细观察可以发现，大气层这薄如蝉翼的光晕在阳光下闪烁着。这是已知的唯一的生命住所，亦是我们唯一的栖居之处。

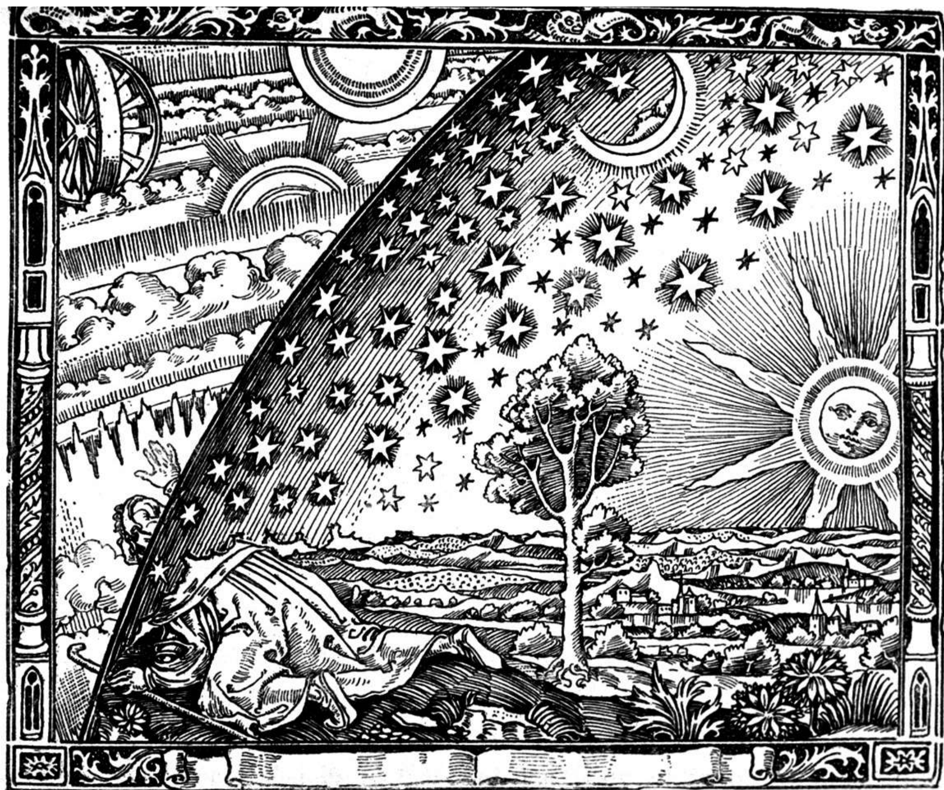


地球从月球上升起的照片，由阿波罗11号的宇航员拍摄

那画面中的蓝色星球上看不出人类的踪影，也没有我们熟悉的事物的痕迹。从月球上眺望我们的生存空间，这种从外部进行的观察与寻常的感知大不相同。不过，我们很快便会发觉：这就是我们的星球。恰恰是这个陌生的视角让这些图像充满力量。看过它们的人们不再理所当然地看待自身的存在。或许，当我们感到自己深陷于日常的千篇一律之中，生命会显得索然无味。但当我们认识到自身是寒冷宇宙间一颗尘埃之上的孤独旅人，远近皆无朋伴，那么还有什么能比生命更不可思议呢？要想获得对自身处境更深层次的洞见，就必须放下惯常的视角。

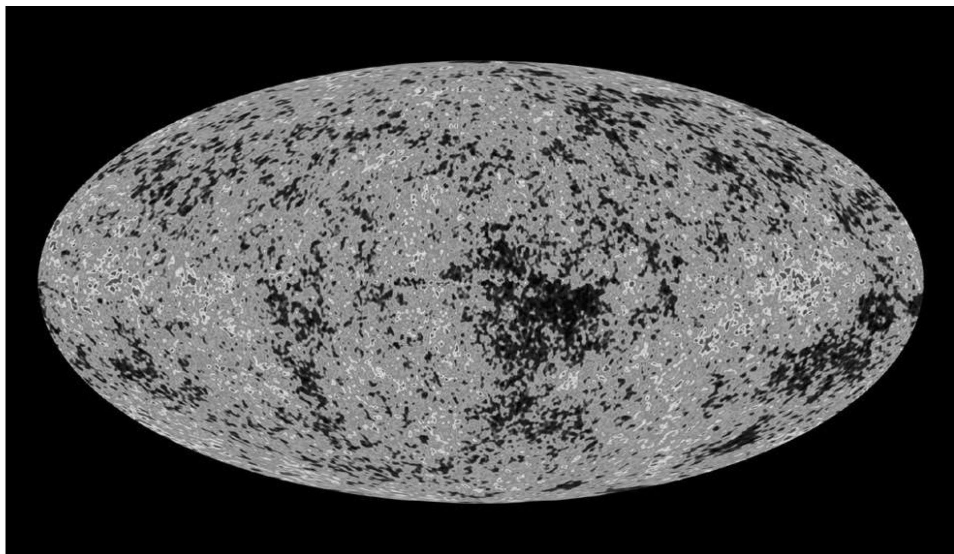
人类已一再发现，世界的真相和它的表象大不相同。地球既不平坦，也没有被太阳环绕着；月亮并非天空中的光源，而是一面反射太阳光线的“镜子”；望远镜中星辰之间的星云不是雾，而是同银河系一样的其他星系；动物和人类并不是以如今的形态来到这颗行星上的，而是经历了漫长的进化才变成如今的形态。这些认识当中的任何一个都曾让人难以置信。它们与人们能够想象并愿意想象的一切都大不相同，而如今，我们对这些曾难以置信的事物都已习以为常。基于它们，我们现在对世界的认识才建立起来。

在我看来，鲜有作品能像那副神秘的木版画一般，以令人印象深刻的方式展现出这种探求——以一种更新、更全面的视角来看待真实世界。那幅木版画出现在法国天文学家卡米耶·弗拉马里翁（Camille Flammarion）1888年的一部作品中，一般被称为《太空边缘的旅行者》。画面中，一位旅行者抛下了熟悉的环境，去探索宇宙的非凡之美。他抛在背后的是我们习以为常的世界：平缓的山丘上生长着灌木和大树，远处的村庄依偎在海边，落日余晖照亮了海面，夜色渐浓，夜空中星罗棋布。旅行者的上半身早已探出这一片直挂到地球表面的星空，他的头已探入另外一个与熟悉的表象世界截然不同的世界，那里闪耀着奇幻的涡旋、云层、火轮、辐射与光线。他把手伸向他眼前的这些神奇景象。但是，这位旅行者当真离开了他所熟悉的世界吗？繁复的画框将这幅版画的两个部分框在一起。画面里天穹之外的涡线不禁令人想起电磁场里的磁感线，这也许并非偶然。在《太空边缘的旅行者》这幅版画问世的二十几年前，物理学家就已发现了看不见的磁感线。



木版画《太空边缘的旅行者》出自卡米耶·弗拉马里翁的作品《大气：大众气象学》（*L’atmosphère: Météorologie populaire*），该作在1888年出版于巴黎

旅行者惊讶的双眼看到了另一个维度。他观察着惯常表象背后的景象——这并不是一个陌生的世界，而是我们日常生活的世界。当看到月球之上那颗蓝色的地球冉冉升起时，我们一定会与这位旅行者一样感同身受。



宇宙微波背景辐射图由欧洲普朗克卫星发回

如果让我选一幅关于21世纪诸多伟大发现的图像，我的选择大概也会与宇宙有关。必须承认，由欧洲普朗克（Planck）卫星发回并于2013年公开的这张宇宙微波背景辐射图，比太空旅行者的木版画和电视里的蓝色石球都更难懂。它初看时就像是一张抽象画，与《太空边缘的旅行者》画中的涡线有些相似之处。上面由各色斑点联结而成的图案，或许是某些大陆？

其实，这幅图展现的是地球以外的整个可见宇宙。刚看到这幅图的时候找不到头绪并不奇怪，因为绝大多数人确实尚不明了它所呈现的宇宙观。图中可以看到的是诞生——宇宙的诞生。各种色点代表着130多亿年前宇宙大爆炸后不久释放的光线——宇宙最初的光。它无所不往，充斥整个宇宙。随着时间的推移，这些光转化为热辐射。宇宙微波背景辐射图中不同的颜色代表着不同的温度，它们是宇宙大爆炸的余温。这余温让我们知道，宇宙空间不可能曾经完全冷却。这种余温甚至也存在于星系间的虚空之中。虽然我们的肉眼无法察觉，但通过普通的圆盘式电视卫星天线就能接收到这种背景辐射。

背景辐射的发现出于偶然。1964年，物理学家阿诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）与罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）正在美国新泽西州操作一台卫星天线，这是最早的卫星天线之一。操作过程中，他们发现了一个干扰信号，这个信号几近均匀地从四面八方传来。因此绝不可能来自附近的纽约，也明显不是来自地球。但在银河系或其他星系中几乎找不到这种信号的来源。阿诺·彭齐亚斯认为，这种干扰是天线上的一种“白色电解质”所

致，俗称鸟屎。当时有一对鸽子在这圆盘式的天线上筑了巢。彭齐亚斯出生于德国慕尼黑的犹太家庭，得益于当时的“难民儿童运动”（Kindertransport），六岁的他跟随哥哥躲开了纳粹的魔爪。为排除前文所提的干扰信号，彭齐亚斯与威尔逊找来捕鸽器，并把这对被抓的鸽子装上货车运到了距离天线50千米之外的地方。可这两只鸽子又飞了回来。无可奈何之下，彭齐亚斯只好以科学的名义射杀了它们。天线算是清理干净了，但这不知从何而来的信号依然存在。两位科学家一时束手无策。

这时，彭齐亚斯想到了宇宙大爆炸理论。这种理论推测是一次巨大的爆炸形成了宇宙，甚至还可能留下了辐射，这在当时算是极其疯狂的猜想了。而且，当时人们头脑中的世界在时间上是无限的，投身于这种“科学幻想”会威胁他自身的事业。但宇宙大爆炸理论预言的辐射恰好与卫星天线接收到的信号相符，这原被认为来自鸽子粪的干扰信号，恰恰成功地佐证了宇宙有源头的想法。因此，彭齐亚斯与威尔逊在1978年获得了诺贝尔奖。

那台帮助两位科学家首次捕捉到宇宙大爆炸信号的接收器，如今在慕尼黑的德意志博物馆内供众人瞻仰。彭齐亚斯之所以将它捐赠给他的故乡，那座他孩童时期为了活命而不得不离开的城市，是因为他肯定德国没有掩盖过去而敢于认清过去的态度。他解释道：“我愿意成为这个集体的一份子，因为它向后代坦白了自己的过去。”

在彭齐亚斯与威尔逊获得这一发现的近半个世纪以后，欧洲发射的普朗克卫星重新探测了宇宙最初的光。为能以百万分之一的精度准确测量天线所接收到的背景辐射温度，这台空间望远镜伸向各个方向的天线都是通过液态氦冷却的。最终，来自多所欧洲大学的天文学家们将数以千计的单拍图像拼成了一张全景——宇宙微波背景辐射图。

第19页的宇宙微波背景辐射图展示的是历史的开端。当时，地球连个影子都还没有，而图中形似大陆的色块实为当时宇宙物质密集的区域，这些区域之后会形成星际云、星系、恒星以及行星。这就像我们通过超声诊断发现子宫内人体形成的奇妙过程，读取婴儿的心跳，观察其器官的生长，最后得以辨认腹中婴儿的面部特征——有关宇宙微波背景辐射的这些图像也以同样的方式向我们讲述了宇宙的发展。

这些图像模型蕴含着不可思议的信息宝藏。如果仔细分析这些辐射，可以隐约察觉，宇宙自诞生以来就在不断膨胀。

因此，我们如今见到的这个宇宙，曾经的体量一定非常微小。假如时间倒流，这个宇宙的体量只会越来越小：小过月球，小过足球，小过原子。但这一切终归有个开始的原点，我们称之为宇宙大爆炸。大爆炸时产生的那个宇宙虽然微小，但已包含一切。此后，宇宙只是在膨胀、在变幻。

这是难以想象的。但我们同样无法想象今天的宇宙。它的尺度虽然可以通过宇宙微波背景辐射的图形测算出来，但也远远超出了人类能够理解的范围。眼前夜空的浩瀚足以使我们肃然起敬，但在目光所及的各个遥远星系之外，蕴藏着一个至少比我们看到的大250倍的宇宙。这已经是相当保守的估计。我们完全有理由相信，在目光所及的世界之外，有一个比我们能看到的大好几十亿倍的宇宙。第9章中会具体讲述。

目光无法抵达的地方会有什么呢？我们现在接收到的背景辐射标定了可见世界的边界。这些背景辐射需要花费138亿年的时间抵达地球，这相当于宇宙诞生至今的所有岁月。而比这更远的那些光，从宇宙诞生之初就注定没有足够的时间来到我们眼前，以后也不太可能抵达地球：因为宇宙膨胀的速度太快，如今的宇宙膨胀的实际速度是超光速的。宇宙中遥遥相望的两个区域正急速远离彼此，光速亦追不上它们。因此，普朗克卫星发回的宇宙微波背景辐射图告诉我们，在可见世界之外存在一种真实，它虽无法触及却真实存在：那便是它界（Otherworld）。

但我们的存在恰恰得感谢这个超出我们观测能力的空间。宇宙要是可以尽收眼底，就会比现在小得多，我们很有可能就不会出现。这样的宇宙要么所含物质太少，不足以形成天体，要么由于自身引力的作用，早早就坍缩了，就没有足够的时间和机会演化出我们人类。

宇宙微波背景辐射图让我们知道宇宙间精妙的平衡，以及我们对自己的生活空间所知甚少，但它能告诉我们的远不止这些。背景辐射图中的色块其实是各个星系的雏形，这些物质聚拢在一起，形成了后来的天体——是这些物质的引力将它们聚拢到一起的。但就算把我们已知的宇宙中所有物质的引力加在一起，也不足以形成这些色块！

科学家根据普朗克卫星发回的图像对这块知识空白进行测算，测算结果精确到了小数点以后。结果是，宇宙中有84.5%的物质是“暗”的——这委婉的措辞意味着，我们压根不知道这部分物质的成分。唯一可以肯定的是，就像在我们的世界之外存在着隐匿的空间一样，世界中确实存在着这部分黑暗物质，而且它们也促成了我们的存在。因为，假如没有这些物质，早期宇宙中的星云便无法聚集成天体。没有这些暗物质，也不会有恒星，不会有它们燃烧孕育出的氧和碳，而氧和碳是生命的基础。

在这幅宇宙微波背景辐射图的结构背后，似乎隐藏着完美的机缘：整个宇宙浩大而稳定，它内含的暗物质在使恒星熠熠生辉的同时，又有足够的能量确保那些正在形成的星系和行星系统在宇宙本身膨胀的过程中不会解体。因此，远在138亿年前，当宇宙发出第一道光芒时，就有了孕育生命的可能——孕育我们的可能。

乔治·斯穆特（George Smoot）这样评价1992年最初的那些宇宙微波背景辐射图：“若您信仰宗教，那么这就相当于看到了上帝的真容。”后来，这位美国物理学家借助当时那些极其模糊的图像获得了诺贝尔物理学奖。而如今，我们已能在清晰度极高的图像上看到这个世界最初的光。

曾经，在电视机里，蓝色的地球从月球后面升起，向人类展示了我们自己的行星：宇宙浩瀚荒芜间的一片绿洲。而今，宇宙微波背景辐射图的魅力在于，它展示了一个更加友善的、为生命而生的宇宙，仿佛这个宇宙早就知道我们有一天会来似的。

3 驰骋于光线之上 相对论

一个年轻人自问，什么是光。

他通过对光的思考了解世界。

空间与时间向他袒露真心。

可直到他，爱因斯坦，去世，

这光的谜题仍未解开。

我十岁时反复做一个梦，不堪其扰：天空阴沉，太阳暗淡，一切都失去颜色。惨淡的光线中，女人、男人、小孩排着弯弯曲曲、连绵不绝的队伍，各自提着行李箱在一扇门前等待。这扇门通向一个隧道。我在梦中知道，太阳一旦熄灭，就再也不会升起了。天已经非常暗，父母拉着我的手，也在队伍中等待，等待着踏上那条通往地底世界的路。

每当我从梦中醒来，都会感到错愕。这个梦之所以令我惊愕，不在于黑暗本身，而是它让我想到了我们很有可能将永远生活在一个没有光的世界里。这使当时的我意识到，我是多么依赖太阳。我对自己周围的人能了解得非常清楚，但是关于太阳，我所知道的仅仅是它因为地球的自转而在每个早晨都照常升起。这并不能令我感到安心。地球一直不停地转动，难道不会累吗？太阳为什么不会燃尽，它因为什么而发光？而光，究竟是什么？

我的父亲是化学家，母亲也是，他们的朋友也都是化学家。有时，他们会带我进实验室，我就可以在那里做实验。他们给我各种粉末，有些粉末能够使火焰变成蓝色或绿色。在那里，装满液氮的隔热瓶升腾着雾气，我宛若置身仙境。当我把橡皮球浸入那种冰冷的液体，随后又将其掷于地面时，橡皮球就会破碎。“为什么呢？”我问。“因为低温把它变成了一颗冰球呀。”父亲说。他总是能够解释一切问题。

于是，我壮起胆子问道：“光是什么呢？”我没有告诉他为什么我想要知道这个，因为我不想告诉他我做的梦。“光是由看不见的粒子组成的，”我父亲说，“光的粒子叫作光子。”我随即想象，来自太阳的光子像雨点一样落在地球上，每一道光线都像一场阵雨，噼里啪啦地打在我的皮肤上。“就是这样的，”父亲说，“所以，太阳才能温暖我们呀，它以粒子的形式把能量传递给我们，没有这些能量的话，我们很可能就活不了了。”

多年以后，我真的听到了那种阵雨拍打皮肤般的声音。当时，我坐在慕尼黑大学物理系偌大的阶梯教室里，正当我感到有些无聊时，教授让人推进来一辆小车。他随后一一介绍道，小车上有一根黑色的管子，里面装着一盏很暗的灯和一台探测仪；探测仪内部的光电元件能够对光子进行计数，每个光子触到探测仪时都会发出啪嗒的声音。教授开始调试设备，起初我们只能听到一些杂音。但当他渐渐地把灯光调暗，设备短暂地安静了片刻，随即就发出了啪嗒一声——仿佛水龙头里落下一滴水来。之后又是：啪嗒、啪嗒、啪嗒……

这就是光子的痕迹，它使我们得以存在，赠予我们日与夜，带来潋滟水光、皑皑白雪、皎皎月光，以及缤纷的肥皂泡和彩虹、冬夜里摇曳的烛光。

光传递的不单单有能量，它还会传播信息。十年之后，我才真正理解了这个道理。最令我大开眼界的，是一项关于深海生物的调查研究。当时，几位海洋生物学家邀请我到他们的考察船上去。我们一行人就这样停靠在加利福尼亚州的海岸，盯着显示屏，观察遥控潜水器从几千米深海发回的那些图像。大多数时间里，我们都只是盯着一块块黑色的显示屏，偶尔有几个亮点闪过，我们就会为之欢呼——因为那是某位深海居民的信号。我突然领悟到，这片海底世界不仅是冰冷的，也必然是无知的，在永恒的黑暗中不会存在智慧生命。当深海中的生物食用着从海洋的中上层沉下来的碎屑时，它们也并不知道那里有阳光照射，甚至不知道自己的周围有什么。深海中的鮟鱇鱼、磷虾、吸血鬼乌贼、灯笼鱼虽然都进化出了能够用于彼此交流的发光器官，但它们体内这些发光细菌的闪光太弱，只够照亮近处的环境。因此这些深海居民也绝不会意识到，它们生存的这个空间只是世界中极微小的一部分。那些深海的鮟鱇鱼又怎么可能会知道，海洋之上笼罩着星空？

同样，我们人类所感知到的，也仅仅是真实世界的一小部分。在很长的一段时间里，我们的祖先都认为这个星球是宇宙的中心。经历了许多世代后，他们才开始慢慢认识到，地球只是宇宙中的一颗行星。但与那些深海鱼不同的是，我们拥有提出问题的能力。孩童时期，我们就想弄清楚自己周遭的事物和我们的来历。我们能意识到，自己只是更宏大的真实世界中的微小一员，并且，我们所了解的充其量只是这个真实世界的一小部分。正是这些问题让我们得以跳脱出自身感知之内的狭小世界。

一百多年前，一个中学生曾经问道，我们是否必须理解了光才能够理解世

界。也许，只有当一个人足够年轻而未能形成强烈的观念及偏见时，才会产生这样的想法。

这个男孩会考虑光的问题，也有一定的机缘，他父亲就曾以光营生。1886年，他父亲与叔叔在慕尼黑合办的电工厂获得许可，为十月啤酒节提供有史以来的第一次照明。一份关于慕尼黑啤酒节的报纸热情洋溢地报道说："这温和而又明亮的弧光灯迸射出梦幻的光线，流淌在人头攒动的节日广场上。"三年后，这家公司计划为之后被并入慕尼黑的施瓦宾铺设电缆。爱因斯坦当时就在工厂里帮忙，他会给同学解释电话的工作原理，并且阅读了许多科普书籍。15岁时，他撰写了自己的首篇科学论文，论文讨论了光在真空内的传播。他还问道，追着光奔跑会发生什么呢？假设一名极速短跑运动员达到了光速，那么他可以抓到光吗？驰骋于光线之上会有怎样的感受？

这些问题，他琢磨了11年。1905年夏天，他终于找到了答案。他在最负盛名的专业期刊《物理年鉴》（*Annalen der Physik*）上发表了两篇论文。在第一篇论文中，爱因斯坦展示了什么是光。第二篇论文则阐述了人们在理解了光的基础上，可以如何理解宇宙。

两篇论文改变了世界。第一篇论文中他将光作为能量进行研究，由此发展出了量子理论。这是一个关于最小单位物质的物理学研究方向。量子理论的世界是诡谲的，本书第5章将会涉及。在那个世界里，自然状态变幻无穷，粒子可以穿过墙壁，事件的发生似乎没有缘由。而在第二篇论文里，爱因斯坦则将光视为信息，他以此建立了相对论，以新的视角阐释了空间和时间。

正是在1905年的这个夏天，人类的视野同时在两个方向得到延伸：量子理论阐释了世界最小单元的运作机理、所有的事物由何组成；相对论则阐释了我们生活在一个怎样的宇宙之中。这就好像深海鱼突然意识到自己是生活嬉游于水中的，这海水是有尽头的，而海岸连接着陆地。（爱因斯坦似乎并不满足于这些成就，他于同年夏天还在《物理年鉴》上发表过另外一篇文章，证实了在1905年许多学者还争论不休的一个课题：原子的存在。）

为何一个时年26岁的年轻人，物理学毕业后因为没有受到任何一所高校的聘用而任职于伯尔尼专利局的三级技术专家，一个人可以取得这么大的成就？

那个中学时期就困扰着爱因斯坦的问题是他的起点：光是如何运动的？在

那个时代人们已经明确地知道，无论光源是否移动，光速都是每秒约30万千米。有些谜题在思索的过程中就一步步解开了，但有些谜题反而越琢磨越摸不透。对于爱因斯坦的同侪来说，光的传播就是这样一个神秘的问题。

“现代物理学之父”艾萨克·牛顿（Issac Newton）曾经指出，光是由微小的物质粒子组成的。但是根据生活经验，在符合牛顿力学的体系中，所有的物质都遵循着一个简单的规律：当人们与正在接近自己的物体相向运动时，物体接近的速度会显得更快，而反向运动时，物体接近的速度就会显得慢一些。但光速则是恒定不变的。所以，光不可能是由粒子组成的，光并不是物质。

于是，牛顿的光粒子理论行不通，其后人们转向了另一种解释：光是一种波，波是物质的振荡。海波在海洋上传播，声波在空气中传播，但光传播的介质是什么呢？显而易见的是，光能够在真空中传播，否则太阳光完全不可能到达地球。可无论19世纪的物理学家多努力，都找不到那种能让光在其中波动的介质。光既不像海洋上的波浪一样传播，光本身的性质又不像物质，那它究竟是什么？这就是爱因斯坦开始沉思时所面临的局面。

爱因斯坦没有彷徨其中，他相信自己的想象力。一位采访者曾问他，他的这些发现从何而来，他答道：“想象力比知识更重要，因为知识有限，但想象可以包罗万象。”光是否可能由无质量的粒子组成？无质量的粒子——这听起来异常疯狂，但这个假说使所有的疑问都迎刃而解。粒子没有质量就没有惯性，所以速度既不会被削减，也无法被加快，光可以保持不变的高速。这一光粒子无质量的假说还解释了光击中物体时的情形。当时，爱因斯坦已经知道，灵敏的测量仪器能够察觉这些撞击，就好像物体表面受到一些微型弹炮的轰炸。这些光粒子轰击的声音，是我曾在那堂物理课上听过的：啪嗒、啪嗒、啪嗒……

比起那样动听的表达，爱因斯坦更愿意用谨慎的文字来表述自己的想法。在1905年的那个夏天，他这样写道，从光线的特质来看，它似乎是由互不相干的能量量子组成的。用这样的方式，他恰恰把一切该表达的都表达了：光是纯粹的能量。这些能量被封装在一个个称为光子的微小包裹里，而这些光子是没有质量的粒子。通过这套理论，爱因斯坦得以解释清楚所有的测量结果。

那么，这个光的谜团真的就此解开了吗？值得警惕的是，在他的措辞里有“似乎”二字。所以，我们不应认为他已经掌握了光真正的属性，他只不过是使读者离这一谜团的答案更近了一些。一切我们自己可能想象得到的事物大都带着日常经验的影子，即便在最怪诞的梦境里，围绕着我们的也都是那些我们平常可以看见、可以触摸到的东西。但爱因斯坦带领我们进

入了一个截然不同、非比寻常的世界。在这里，能量量子没有质量，甚至没有体积，却带有粒子的特性。

爱因斯坦仍不满足于这些简单的想法。因此，他通过脑海里新的想法和试验反复地揣摩自己的理论，总能证实它。而这些近乎折磨的自我怀疑，也使他的诸多发现成为可能。

1922年，他获得了诺贝尔奖。但这一荣誉只是颁发给他诸多成就中的一小部分的，是表彰他以方程的形式阐述了能量与光振动频率的关系。而他用以证明光子存在的高见，并未获得这份最高科学奖项的殊荣。当时瑞典皇家科学院实在是难以把握爱因斯坦的想象力，所以评审委员会慎重决定，没有把奖项颁给爱因斯坦用以重新阐释时间与空间的相对论。高速旅行者变老的进程更慢、光能使空间发生扭曲、未来和过去只存在于观察者的眼中，所有这些想法在瑞典皇家科学院绝大多数评审的眼里都过于天马行空，难以配上诺贝尔奖章。同时，他们也许觉得相对论太令人不安，甚至要求爱因斯坦在发表获奖感言时不要提及这个理论。不过，在得知自己获得诺贝尔奖时，爱因斯坦早已乘船前往日本进行巡回演讲了，因而也并未亲自领奖。

爱因斯坦始终没有放弃对光的思考，他刨根究底，因此才会有此成就。在尝试解释光能的过程中，他想到了光子的存在，而相对论又把光视为信息的载体。原理很简单：正因为光以有限的高速度传播，所以我们永远都只能看到这个世界的一个片段。故而，是光决定了我们对于世界的认识。

日常生活中我们很少思考这样的问题，是由于光传播得很快，而且站在地球上的我们看不到特别远的地方。这就像是以深海鱼的视角，是几乎感知不到身边环境的。但是，当我们将视线扬起，抛向天空，就可以体会光速的举足轻重。光线从月球到地球需要花费一秒的时间，从太阳到地球需要八分钟，从太阳系最外围的海王星到地球则需要四小时。所以当我们极目眺望远方，所看到的其实都是过去的景象。

此外，光还决定了我们是如何区分过去、现在和将来的。这一点与我们的直觉是相悖的，直觉把时间作为我们所经历的一切事情的基础，因此我们会预设时间不依赖任何其他事物，时间是绝对的。我们认为，现在、过去、未来的划分在任何情况下都不会改变，就像我们也曾经坚定地认为地球是平的一样。相反，爱因斯坦认为这一自然法则高于直觉，即光速不变原理。他认识到，我们关于空间和时间的判断都依赖于光。因此，我们会有关于过去和未来的理解，就基于光速很快但有限度这一事实。是啊，为什么自然法则就一定得迎合我们的直觉、取悦我们呢？

假设有两个人，甲和乙。甲在同一时刻看到两道与他距离相等的闪电，会认为两道闪电是同时出现的。而当乙快速经过甲时，其观测的结果是截然不同的。如果乙向着其中一道闪电运动，同时远离另一道闪电，靠近的那道闪电就会比远离的另一道闪电更早地被乙察觉。所以，一定会有一道闪电的光线先被看到，另一道闪电后被看到，甲体会到的“同时”，在乙的眼里就有了“先后”的差别。当甲能同时看到两道闪电时，乙则先看到了其中一道闪电，而后再看到另外一道闪电。甲所感知的现在，对于乙来说是过去和未来。因此，爱因斯坦意识到：这两个人中并不是只有一个人的感受是正确的。所以，我们只好告别那种所有人都活在同一个时间度量里的看法——每个人都生活在他自己的时间里。

极速旅行者衰老得更慢这个事实也渐渐被人知晓。这一挑战了人类直觉的认识，同样可以从光的诸多特质中得到解释。凭借人类平常的运动速度，当然是无法察觉这种效果的。不过，人们可以在特定的基本粒子上观察到这种现象，比如在渺子（muon）上。一般情况下，它们在一百万分之一秒内就会消逝。但如果渺子从外太空高速飞向地球，它存在的时间会延长。所以也就不必怀疑，人类搭乘速度极大的宇宙飞船时其寿命会延长了。

高速运动时会经历时间的延迟，这使爱因斯坦终于解开了自中学时期起就困扰着他的那个谜题：驰骋在光线之上的骑士会经历什么呢？速度越快，时间就走得越慢，达到光速后，时间的指针就会停摆。对于光而言，时间是静止的。那么，驰骋在光线之上的骑士便会永远处在无止尽的当下。

不过，相对论打消了这种可能性。爱因斯坦也是在1905年那个夏天发表完三篇大作之后才认识到，这种“无止尽的当下”为什么不可能。但他同样不敢对这一认识持坚定的肯定态度。他对朋友写道：“这个思考的过程很有趣，令人难以抗拒。但上帝会不会嘲笑我，他是不是在逗我玩？这就无从得知了。”不过，他还是给《物理年鉴》补发了一封附言。短短三页里，他通过计算论述了在光速不变的情况下，任何物体加速后质量都会增加。在这增加的质量里就蕴含着加速过程中消耗的能量，当物体的速度接近光速时，其质量就会急剧增加。所以，该物体只会变得更重，但不会更快，因此它也绝不可能达到光速，也就是说加速消耗的能量会转化为质量。计算到最后，爱因斯坦用短短一句话阐释了其结论，像是某种信号：“物体的质量是它所含能量的量度。”

质量即能量。$E=mc^2$，这是我们今天看到的方程式。爱因斯坦当时的写法是$E=mV^2$，因为当时“c”作为光速的符号尚未普及。这个方程式使原子弹的产生成为可能，同时它也是整个现代宇宙学的根基。而关于质量与能量

等价所产生的后果，又令爱因斯坦思虑了十年。1915年秋天，他终于发表了他的杰作，广义相对论。他在文中阐述了能量，或说质量，是如何决定空间与时间的。

四年后，他的思想体系得到了证实。光再次起到了决定性的作用：1919年5月29日，天文学家利用当天的日全食证明，靠近太阳的一颗恒星在天空中的视位置与平时位置相比发生了偏移。这一观测结果完全符合爱因斯坦的预言：太阳的质量会使空间发生弯曲，从而使星光发生偏折。通常，这一现象是无法辨识的，因为太阳光太强，使得其他较弱的光线看不清。而当月亮挡住太阳光后，这一偏折就显现出来了。

爱因斯坦还成功地将他的整个相对论总结成一个单独的方程式。等号的一边是能量与物质，另一边是空间、时间和曲率，光速把这些量联系在一起。爱因斯坦和他的同事们开始解这个方程，其计算结果颠覆了之前人类对于宇宙的所有设想。爱因斯坦的理论带来了一个似乎最玄妙的想法：宇宙在膨胀。星际云汇聚在一起，恒星被点燃，在这种高温下产生了各种元素。熄灭的恒星坍缩成黑洞，继而吞噬光与物质，引力波则使宇宙荡起涟漪。

连爱因斯坦自己都不敢确信，自己的每一个预言是否都会有被证实的一天，例如，普鲁士科学院1916年的档案曾记载道，爱因斯坦是多么谨慎，同时又多么有远见：爱因斯坦曾向大会的同事们论证，引力波必然存在，但他同时提出了限定条件——这种空间震颤的节律太弱，几乎无法测量。足足过了一百年，美国物理学家果然得到并公布了第一例引力波的探测结果。2016年发布的这一信号是两个黑洞合并而产生的，距地球十亿光年。

通过对光的思考，爱因斯坦得以认识世界，在这个世界里，空间与时间、质量与能量不再是彼此毫无关联的数字。一位观测者认为同时发生的不同现象，在另一位观测者看来可能有先后之别。一个人感受到的当下，对别人而言可能已经是过去，或是未来。质量会使空间发生弯曲，物质可以转化为能量。

在这样的世界里，重要的不是具体的事物，而是这些事物联系而成的事件。重要的不是有形的物体，而是能量和信息。这个世界里，存在计算机、太阳能电池、卫星定位系统和互联网，也存在核反应堆和氢弹，而以上每一个发明，都与爱因斯坦对于光的认识有着直接的联系。

爱因斯坦本人也从未放弃思考自己中学时期提出的那些问题。光子没有质量，却具有一些甚至超出他想象力的特性。对于这样的认识，爱因斯坦直

到生命尽头也没有得出足够满意的答案。1951年，就在他逝世的前几个月，他对青年时期的朋友米歇尔·贝索（Michele Besso）写道：

“这些年我一直苦思冥想，却并没有离‘什么是光子’的答案更近一些。如今虽然每个家伙都自诩知道答案，但这不过是在自我欺骗。”

真知的道路是一架螺旋梯，而非康庄大道。有的人在这条路上走了很久，转了一圈又一圈，看似一次又一次地回到起点。但是显然，他已经登上了新高。

4 拉普拉斯妖落败 不可预测性

飓风横扫德国，

却无人预知这场风暴的来临。

其中蕴含着世界诡谲难测的原因

以及对宇宙这个创造者的赞颂。

我们用智能设备通话，借助导航设备穿越陌生的街区，而且在不久的将来，我们会把自己的生命托付给自动驾驶汽车。我的朋友与自己选择的配偶的第一次婚姻以失败告终，可现在却与计算机为他推荐的伴侣过上了幸福的生活，这使我感到惊讶。原则上，我并不反对机器干预我的决定。我的手机上下载了一些天气预报APP（应用软件），它们声称能够预知未来14天的天气，并精确到每个小时。一周刚刚开始的时候，软件里本周六的天气状况是一个太阳的符号，这令我感到很安心，因为计划好的游园会可以如期进行了。周日则显示的是阵雨的符号，于是，我早早地担心起约在当天的皮划艇项目。

如今，气象学家可以为他们所取得的成果感到自豪。在近代早期的法国，预测天气的人还被视为骗子，被绑到轮子上遭受轮刑之苦。俾斯麦也曾禁止引入国家气象服务，理由是普鲁士官员自己对天气的判断从不出错。如今，气象学家凭借其对未来愈发精准的预测，影响着几十亿人的生活。

当下，对次日天气的预测准确率可达70%以上，而对未来三天的天气预报，比我上大学时对次日天气的预测还要可靠得多。在这方面，计算机技术当然功不可没。1979年，欧洲中期天气预报中心借助以液态氟利昂冷却的超级计算机克雷-1（Cray-1），开启了天气预报的新纪元。当时，这台计算机每秒可以进行1亿次运算。如今，一块Apple Watch（智能手表）的计算速度比它还要快30倍。而目前用于气象预报的机器对德国上空的解析能力已可以精确到方圆3千米——这意味着每个村庄都可以有属于自己的天气预报。为此，这些计算机需要吞吐来自上万座气象站、成千上万的飞机与船只、几十颗卫星的数据流。

这个世界正在被扫描、采集、转译成机器可以读取的信息：我们以令人惊异的方式接近了皮埃尔·西蒙·拉普拉斯（Pierre Simon Laplace）侯爵的幻想。1814年，这位法国天文学家提出了关于完美智慧生命的假说：“它足够广博，能够解析一切数据。”在这样的世界精神——人称拉普拉斯妖

——的面前，任何事物都无处遁形。不过，拉普拉斯所指的并非全球性监控。他曾写道，他提出的这一智慧生命拥有预见未来的天赋。因为，一切事物的发生都遵循着自然法则，如果能够足够细致地了解今天的世界的状态，那么，明天的形势就可以被计算出来。关于拉普拉斯的这个想法不过是一次哲学性的思索，在当时，没有人能够想象得到大规模的数据处理有朝一日会成为现实。拉普拉斯妖不过是一个假想的构思，是为了彰显自然法则的威力，从而推翻宝座上那位凭借自己的意志统治一切的神。同时代人也许会追随它，相信这个世界是可以预测的，另外一些人也许不会。

不过，对我们来说，这个幻想已不再是幻想。发明家康拉德·楚泽（Konrad Zuse）于德国柏林的克罗伊茨贝格（Kreuzberg）启用了世界上第一台可编程计算机，之后仅过了短短70年，我们就已经能够处理海量的数据，想处理多少就处理多少，只要能制造出足够强大的计算机。于是，当年提出的拉普拉斯妖就在处理器里找到了栖身之所。并且，处理器的性能每过一年半就会翻倍，仿佛再没有什么能够阻碍我们更加精细地预见未来。

如今，已具备了强大运算能力的互联网集团及情报机构希望能够细致入微地预测人类的行为。他们想要知道，什么样的广告能够抓住我们的心，下一次恐怖袭击的发生地会是在哪里。医生希望通过基因信息预测疾病，甚至有些神经科学家和哲学家认为，我们的大脑也是拉普拉斯妖分析处理的众多事件之一，他们幻想有一个数学模型能够分析我们身上发生的一切。你会诧异竟然还有那么多人害怕这类研究吗？这种不安的背后存在着一种忧虑，人们担心被解析的世界不再神奇、被解析的人类不再自由。我们并不想被捉摸得一清二楚。

这种认为世界的一切现象是以少数几个法则为基础，理论上能够被计算或预估的看法，被称为还原论（reductionism）。还原论仿佛成了现代自然科学的信条，这类研究注重寻找尽可能简单而又无所不包的解释。比如，我们能够飞到月球上，是因为宇宙空间中一切物体的运动都能根据同一条引力定律推导出来；我们还能够凭借达尔文有关变异与自然选择的法则，解释所有生物的演化；而在借助量子物理学的各种方程式理解了原子的动力学特性以后，我们构建了一个满是计算机和激光器的虚拟世界。所有这些成就都让人对还原论的信赖发展到了无以复加的地步。

可又是谁在苦恼，无法借助自然法则来预测一只小蚂蚁的行为呢？还原论的信徒不过是缺乏对细节的认知罢了。要想理解蚂蚁的大脑，还有很长的路要走，我们甚至还不知道蚂蚁的大脑里有多少不同种类的神经元在放电。不过，我们了解得越多，对于蚂蚁生活的预测就越容易更进一步：这

是希望所在。

相较而言，气象学家面临的挑战就容易一些。大气中的许多活动都不再是隐秘的，如今我们已不再相信雨神雷神的存在，而且，我们已经知道云层里充满了凝聚的冰晶和小水滴。形形色色的天气类型都与地球受到太阳照射后温度升高有关。大气一升温，其中的水汽和干空气就会运动起来，气体开始膨胀，水汽会凝结成小水滴或凝华成冰晶。这些都是基础物理学的内容。当气体受热，密度就会减小；密度减小，气体就会向上升起。这部分气体升起，就需要地面上有新的气体补充进来：这就形成了风。这些空气和水汽的组成成分是分子，而分子的动力学特性可以归结为一行简短的方程式，这就是薛定谔（Schrödinger）方程，是与日常生活相关的万物理论（Theory of everything）。一切物质都遵循这个方程，前提是这些物质一如既往地存在于地球上。这个方程确定了分子形成、花卉与树木生长、大脑内部神经递质作用的原理——当然也包括了天气的原理。虽然薛定谔方程里包含的不过是原子核和电子的距离、质量、电荷以及一个普朗克常数（也称物理常数），但它的准确性是不容置疑的：已有精确到小数点后至少18位的测量结果证明了这一点。那么，到底是什么阻碍了我们借助超级计算机，测算出三周以后乃至来年夏天的天气情况呢？

每晚的电视新闻过后，拉普拉斯妖一展身手的时刻就到了。但在一个去游园会的下午，天气与预报里说的晴天不同，我们遭遇了一场强烈的夏季雷雨。与之相反的情况也时有发生：德国气象局预警的雷雨天气有65%以上未曾发生。而私人公司对一周以上的气象的预测，大多还不如投骰子来得准确。尽管这一切遵循的都是已知的简单规律，但天气预报还是会失灵。

或许这类预测的要求太高，拉普拉斯妖难担重任？这个疑问使我想起与我的儿子埃利亚斯（Elias）下棋的场景。我儿子在5岁时立志学国际象棋，并且真的在半小时内就掌握了国际象棋的所有规则。他知道了车、马、象分别应该怎么走、怎么吃子，知道了兵到达对方底线以后可以变成王后，也知道他得将死我才算赢。埃利亚斯甚至弄懂了王车易位，但令他大为失望的是，仅仅知道这些规则还不足以战胜他老爸，他的每一步棋都还欠点儿火候。埃利亚斯虽然面面俱到地了解了基本规则，但他当时还没有真正领会国际象棋的妙法。他缺乏一位真正的棋手经过长年训练获得的视野以及多年累积的经验。仅凭对规则的了解，他还无法达到落子有神的境界。所有人都必须不断地下棋，在上千场棋局中探索各种可能，才能真正地懂棋。

计算机发展的早期，信息论之父克劳德·香农（Claude Shannon）尝试教计算机下棋。在国际象棋领域，计算机这个拉普拉斯妖总可以战无不胜了

吧？毕竟它拥有完美的智能，能够测算出每一种棋局的走向，从而选择最优的走法。每一步，双方都有差不多30种走法，而在一场对弈中，黑白双方一般都会轮到大概40次。那么，可能的走法将达到10^{120}种，这是一个多么巨大的数字：相当于1的后面有120个零。要尝试所有的走法，即便使用目前的超级计算机也得算上个10^{90}年，这比大爆炸后整个宇宙经历的岁月还要长十几亿倍。理论上讲，超级计算机还需经历这么长的光阴，才能落子有神、无往不利。

上述数字比较难以理解，最好用孩子口中极富想象力的词汇给它们取个名字。其实早在1938年，美国数学家爱德华·卡斯纳（Edward Kasner）时年9岁的外甥就已为此创造了一个词。据说，这位科学家在他们散步的时候，让这个小男孩试着命名数字10^{100}，即数字1后面加100个零。100亿与自己相乘十次，就可以得到这个数字。“Googol（古戈尔）”，这个小孩脱口而出。

“Googol”的发音听起来很像某知名搜索引擎的名字，这当然不是巧合。1997年的秋天，加利福尼亚州斯坦福大学的几个博士生打算给一个新网站找个贴切的名字，体现这个网站能够发掘并呈现海量信息的能力。这时，他们想起了那个小男孩当时造的词。也许，就像硅谷人常说的那样，年轻的计算机科学家擅长在终端输入各种字符，但并不擅长正确地拼写单词。

国际象棋里可能出现的棋局数量比Googol还要多上几个零，而一台完美的超级计算机思考和分析棋局所需的时间以年计算的话，只比Googol少几个零。但是在这样大的数量级面前，几个零的多与少已无法改变一个事实——这个数字无论如何都已超出人类的掌控范围，因为Googol已经接近于无穷大。虽然它没有超出正常数字的范畴，但太过巨大，当可能性达到如此巨大的量级时，任何计算机都无法计算过来。我们之后还会常常谈到Googol。

纵然人们期待出现更好的技术，但希望还是很渺茫。比如，一台国际象棋计算机产生的数据，总得全部存储到什么地方才行。可是我们造不出一台足够大的存储器来匹配所谓战无不胜的国际象棋计算机程序。因为存储信息是需要物质材料的——比如一张纸、一颗大脑、一块计算机芯片。而且由于每一种材料都由粒子组成，书写的字符不可能无限地挨近，所以数据存储的能力必然有限。可想象到的最大存储器恐怕是这个可见宇宙，把这个宇宙每一个角落的每一个粒子所能容纳的数据量全部加在一起，其总额恰好与一场对弈可能出现的所有棋局相当。

所以，拉普拉斯妖下不了国际象棋，世界上也不会有所谓完美的国际象棋

计算机。目前的计算机程序所追求的目标要低一些，它们不再运算所有可能性，而是尝试找出最有可能获胜的走法。这就快得多了。不过，这需要一些基础知识的支持，程序需要知道国际象棋通常怎么走才有戏。也就是说，这个设备会被按照著名的阵法、各种对弈的开局和终局进行编程，编程者或许还会在设备中输入其他一些程序，比如一个王后换一匹马大多数情况下是不值当的——就像我教我的孩子那样。如此一来，计算机和小孩都不再单凭国际象棋的基本规则下棋，而是结合他人传授的经验来决定每一步棋的走法。这样一来，计算机程序不再执着于绝对确定的预测，而是懂得向不确定性妥协。也因为此，它不再是无懈可击的，毕竟经验有时候也会误导人。所有目前那些战胜了国际象棋世界冠军的计算机，不过是矮子里头拔将军而已。不过，这种计算机虽然无法给出完美的预测，但它对于国际象棋复杂性的掌控能力恐怕比智慧的人类还要强。

与国际象棋相比，天气的情况要更加混乱。在国际象棋的世界里只有32个棋子和一块64格棋盘，即便这样也已经存在几万亿种可能的棋局。大气内部的活动就更加难以估量了，仅仅一口气，约250毫升的气体，里面就包含着10^{22}个氧、氮分子，而整个大气层所含气体的总量约为10^{22}升，也就是1的后面跟着22个零。据说，关于这组数字，于1942年成功完成首次受控核裂变的美籍物理学家恩里科·费米（Enrico Fermi）曾风趣地打过一个比方：我们每吸气一次，就相当于吸进尤利乌斯·恺撒（Julius Caesar）最后一口气中的一些氧分子。因为两千年来，那位独裁官临死时吐出的最后一口气已然均匀地分布在整个地球上了。也就是说，平均每一升空气里就有一个分子来自恺撒的最后一息。

世上没有哪一颗头脑、哪一台计算机能够完全掌握大气变幻莫测的活动。连国际象棋计算机程序都不能把小小棋盘上的所有棋局都试个遍，面对大气内部所有可能的状态，计算机更加难以胜任了。于是，人们莫名地陷入了两难：一方面，根据基本规律来讲，天气不过是气体和水蒸气的运动，有了这些大气活动，才会形成雨雪、风暴和明媚的蓝天；另一方面，虽然一切事物都遵循着这个简单的基本法则，但我们无法从中得出雷暴锋面。要想根据基本法则推导出卷积云的各种形状，恐怕用最快的数字计算机群，也得花上相当于好几个宇宙年龄的时间才能得出数据，而这么多数据恐怕用整个宇宙都装不下。所以单单研究基本的自然法则，是无法了解什么是冰雹、季风、龙卷风、冻雨，什么是晴好天气的。要想发掘自然世界的丰富多彩，必须亲眼去看。

可见，要想凭借几个基本事实推导出有用的结论，即便是把整个宇宙当作计算机都不可能，还原论也派不上用场。唯一的出路是转变视角，在云、风、高气压区的问题上多动脑筋。

这么一来，整个世界就会变得冗杂很多。不过，不再执着于拉普拉斯妖的想法后，我们是可以在周遭世界中识别出一些基本模式的。毕竟，物质喜欢排兵列阵，分子会相互靠拢，天空中会形成片片云朵。因此，想要预言未来并不是件毫无希望的事情。我们可以效仿国际象棋计算机的案例，像农民借鉴农谚，学会抛开细节抓主干。有时候重要的不是细节，在这种情况下，目光别太锐利反而更有优势。虽然凭借这种方式，我们顶多只能确定可能会发生的事情。但是对于一些简单的天气情况而言，这种方法的命中率是很高的。就像我们即便不知道水壶里面的每个分子是如何运动的，也敢大胆预测茶水沸腾的温度一样。

不过，天气遵循的基本模式有哪些？大气中可供观察的现象可谓应有尽有，可大可小。小到指顶花（学名毛地黄）内形成的微型涡旋；大到本身动辄绵延百米的积云，而在这些预示了好天气的积云里又到处漂浮着小于0.001毫米的小水珠。一场雷雨可以肆虐方圆10千米，而一个低压气旋可以覆盖方圆1000千米有余。阵仗最大的要属高速气流（Jet stream），那些狂舞的蛇行急流环绕着整个地球，甚至能够锁住整个大陆上空的气团。

大气中发生的每一种现象，从最微小的到最巨大的，都起着应有的作用。气流在一片云层中涌动，细小的水滴相遇，随后结成可见的水珠，最后形成降雨。由于大气的不稳定，降雨后地面气温下降，也有可能引发天气骤变。哪怕一阵微风都有可能扰动大气，各种扰动不断传递，就像碰倒了一块多米诺骨牌，而由于地球的自转，千里之外的一点风吹草动也可能产生相应的影响。不过一般情况下，即便几天前北美遭遇了剧烈的雷雨天气，德国的天气情况仍旧是难以预测的。

一只蝴蝶在遥远的大陆偶尔扇动几下翅膀，也可能颠覆我们这边的天气，这句话在现代已耳熟能详。“蝴蝶效应”一词是由美国气象学家爱德华·洛伦茨（Edward Lorenz）在1972年的一次演讲中提出的，演讲话题涵盖天气预报面临的诸多难题。他不是说这个世界没有任何规律可循，而是想指出，人不可能把一次天气预测所需的所有决定性因素全部找出。人不可能监控世界上所有的蝴蝶。

我的一位女性朋友乌尔丽克（Ulrike）就曾经历过这种蝴蝶效应。那是1999年圣诞节假期的第二天，她准备驾驶敞篷车穿过施瓦本高山牧场。清晨的天气预报说，不会有降雪或其他恶劣天气，但在从斯图加特通往慕尼黑的高速公路上，她目睹了世界末日般的场景。树木砸向疾驰的车辆，卡车的拖车被甩到空中。她没有丝毫防备就陷入了一场飓风之中，而这场飓风算是欧洲有史以来最为强烈的几场之一。

这一恐怖事件发端于平安夜的塞布尔岛。这座沙岛位于加拿大沿海地带，因船舶失事甚多，也被称为“大西洋公墓”。沙岛上无人居住，只有气象站

的五位员工在那里坚守。1999年12月24日，他们放飞了一颗气球探测装置，用以测量大气高层的温度、压力和风速。但后来探测装置失灵，气球的飞行便中断了。飞行中断之后不久，欧洲天气预报中心的计算机组就开始了运算。而对于塞布尔岛地带的数据，计算机组只使用了该气球发回地面的那一小部分。预测结果显示，圣诞节的第二天，德国南部将遭遇强风暴，但这一预测结果并未发布。

原因是，在第一次探测升空失败的114分钟后，塞布尔岛升起了第二台探测装置。这一次，所有测量仪器运转正常，不过技术人员忘了根据之后的起飞时间调整探测设备上的时钟，这导致所有发回地面的时间信号显示的都是近两个小时前的时间。德国气象局的天文学家当时并没有注意到这一点，他们以为塞布尔岛的高空风速要比前一次测量结果慢20千米每小时。这个偏差好像并不显著，毕竟高层大气的风速可达500千米每小时。而且全球气象版图汇集的数据源成千上万，来自塞布尔岛的数据只不过是整块版图中微小的一部分而已。不管怎样，计算机组重新使用这组已发生细微变动的数据进行了运算，可这次得出的结果与上一次截然不同：不会产生什么风暴。当时值班的气象学家也认为这个结论更有说服力，随后，各大电视新闻便在平安夜当晚预报，人们又将在一如既往的融雪天气中度过一个宁静的圣诞假期。

与此同时，亚速尔群岛南部一个之前并不显眼的平坦低气压区已酝酿了一个小型飓风旋涡。同样，没有人察觉到它正在形成。柏林自由大学的气象学家用一组名字来滚动式命名低压气旋，这一次用的是“洛萨”（Lothar）这个名字。直到圣诞节假期第一天的晚间时段，新闻才通告德国北部将遭遇强风的讯息，但新闻表示，这些强风不会造成危险，而此时，飓风已经奔往法国布列塔尼大区。次日凌晨4点，飓风在法国城市布雷斯特附近的海岸登陆。德国西南部气压移动的速度之快，在整个欧洲中部都前所未有。这一切都表明，洛萨是一枚货真价实的“气象炸弹”（meteorological bomb）——这个专业术语指的是那些极速形成的低压气旋。8点左右，这场飓风推翻了法国鲁昂一座大教堂的钟楼。时速170千米的强风横扫巴黎，掀起了法国巴黎万神殿1500吨重的铅制屋顶。此时气旋的锋面已跨过比利时国境线，并于中午时分抵达德国的巴登地区北部及黑森州一带。此时风速还在上升，黑森林里一架柴油火车头被飓风甩出轨道。仅仅巴登—符腾堡州就有超过5000万棵树木被掀起，而我那位开着红色敞篷车的女性朋友正好在场，所幸她躲过了这场风暴。这场风暴中，共有60人丧生。直到下午晚些时候，飓风在扫过捷克时才渐渐减弱。

这场不幸有没有可能提前预知呢？表面上看，是加拿大塞布尔岛技术员的疏忽大意导致了这样可怕的结果。假如第二个探测器发回的时间是正确的，各气象局或许就能提前一天发出风暴预警。反之，只要在上万正确数

据中有一个信息不准确，整个预测就会失效。飓风洛萨这场灾难表明了，为何期望天气预报准确无误只能是幻想：1999年圣诞假期发生的一切是难以避免的。因为即便所有系统都良好无误地运转，也无法完全避免预测结果的误差，而每一次测量都伴随着误差。此外，由于无法提供足够的运算能力，理论上也不可能精确地确定大气活动。即便是拉普拉斯妖想预言一场阵雨，这个宇宙的数据内存也不够大。

故而我们必然落入一个两难境地：无法处理完整的信息，不完整的数据又无法推导出完美的预测。我们只好接受这种不确定性，并尝试减少它。更高速的计算机组和更优良的测量设备能够使预测更精准，从而不断完善天气预报对接下来几天内天气的预测。然而之后，蝴蝶效应还是会产生作用。错误会随着运算步骤的增加而累积，最终一发不可收，以至于任何后续的预测都无法进行。所以，阻碍我们预测未来的层层迷雾不过是被稍稍推后了，但并未消散。

即便到了一部分人类已能前往其他行星的时候，我们地球上的后代仍会遭遇意料之外的雷雨天气；即便我们的智能水平能够借助大量计算机不断地增强，我们还是不得不向现实世界低头。哪怕最简单的粒子，也能凭借其数量之巨使任何人工智能都败下阵来，更别说是一些复杂的集合体了。

从千回百转的爱到大大小小的金融危机，乃至密密麻麻的蚁群，没有一件不是难以捉摸的。拉普拉斯妖哪怕试着往我们的头颅里瞥上一眼，也会觉得晕头转向。人类的大脑有10^{14}个突触，脑细胞之间的连接更是比整个银河里的璀璨繁星还要多出千倍。那只世界级妖怪，怎能从这所有细胞的状态中推算出一个浪漫之夜或是一次婚姻危机发生的可能性呢？

一方面，自然允许我们得以一窥其规则体系；另一方面，它又阻止我们参透棋局。一部分研究人员或许会因此感到遗憾，而另一部分同侪则会坦然地接受自然的内在世界的不可预测性。

拉普拉斯妖的落败使我感到高兴，还因为另外一点：这提醒了我自然构造的美妙。我们周围的一切都由原子组成，它们微小但数量甚繁。这些海量的简单材料能够构建出无比复杂的形体，组成云、风暴旋涡、大脑的也不过都是些原子。它们根据简单的法则组合在一起，产生了新的现象——天气、思维和爱。正是由于宇宙的无限创造力，人类的预测才常常遭遇失败。

英国物理学家保罗·戴维斯（Paul Davies）曾指出，一切生命赖以生存的分子都有种惊奇的特性。蛋白质和承载遗传信息的DNA（脱氧核糖核酸）都是链条式的，由几百甚至上百万具体元素组成，其成分构造决定了蛋白质的形态和功能，决定了DNA的基因密码。但要预言所有的蛋白质形态和基

因组合是不可能的，因为它们的链条太长，就算是宇宙计算机也难以胜任这样的运算——这仿佛是自然给自己安排的惊喜和意外。在我看来，这种不可预测性正是生与死的边界。

5 一则侦探故事 量子纠缠

一个猖獗的犯罪团体席卷伦敦和纽约。

尽管这些入室抢劫者事前没有串通，

但他们的行动步调全然一致。

探员格洛克试图查出这其中的秘密计划，

可一无所获。他的结论是：

在真实世界里，各处均为一处。

“当然，我们都在那里。”老Qfwfq说，“要不还能在哪里？那时还没人知道太空的存在。至于时间，也同样如此。我们都在那里挤得像罐头里的沙丁鱼，又能对时间做什么呢？”注

——伊塔洛·卡尔维诺《宇宙奇趣》（*Cosmicomiche*）

我敢肯定，没人真正了解量子力学。

——理查德·费曼

世界上各处均为一处，格洛克（Glock）探员早有这样的猜想。11月的一个星期，伦敦被一片浓雾笼罩着，站在街道这头几乎看不到对面楼房的轮廓，就在这时，他找到了这句话的证据。通常遇到这种天气，格洛克根本不会出门。喝完早茶，他会马上投身于手稿的写作，他自嘲这是他的脚镣。不久格洛克就完全被这项工作吸引了，坐在那里一动不动，头也不抬，只有口渴或者饿得受不了，才会离开书桌一会儿。他从未透露过自己在写什么，如果有人问，他会简短地回答：作品探讨的是空间与时间以外的世界，我们身在其中却不自知；“这里”和“那里”完全没有区别，但要阐释这些想法产生的背景，还为时尚早。格洛克已经深耕这份手稿多年，但还没有要出版的意思，不过，他看起来毫不忧心。他身为经济犯罪探员的声誉以及酬劳，让他可以只接报酬最丰厚且最有趣的案子。其他的时间他就投身于这类物理哲学的研究。

渐渐地到了傍晚，外面川流的车辆已亮起车灯，格洛克没有察觉。正当他准备起身给自己倒杯威士忌的时候，门铃响了起来。打开门，一位约35岁

的娇小女士站在门口，穿着一件米色羊绒大衣，肩上挎着一个棕色皮包，一看就是非常名贵的皮料，呈现出日式折纸的式样。她的眼神游离，好像在寻找一个可以牢牢抓住的焦点。

“您就是艾丽斯·阿斯派克特（Alice Aspect）吧，”格洛克说，“恭候多时，请进。我是约翰·格洛克。”

“实在仓促，感谢您能够抽出时间见我，您恐怕，是唯一一个，能帮助我的人。”阿斯派克特女士语气急促，她的法国口音已经几乎听不出来，显然已经在伦敦生活多年。

格洛克默默地将她带进自己的书房。房里摆着古旧的中式家具，寥寥几件，但很醒目。深色纹理的木质餐桌上叠放着一些书和杂志。格洛克为这位客人摆开一张椅子。

“我能为您做点什么？”

“他们前天把我丈夫鲍勃（Bob）抓走了，他现在被拘留审查中。我自然是赶紧聘请了一位辩护律师，但是这位律师告诉我，他觉得这件事不容乐观。他说，就算我丈夫运气好，也得蹲五年大牢。”

“他被指控犯了什么罪？”

“团伙盗窃的重罪，并被指控组建犯罪集团。或许您已经知道，我的丈夫是国际最大拍卖行之一阿斯派克特&孔索坦（Aspect & Consorten）的合伙人。拍卖行在纽约、巴黎、日内瓦和维也纳都有分行，伦敦的这家是总部。但有消息称，我们在伦敦和纽约拍卖的地毯和珠宝竟然都是入室盗窃的赃物。”

“要是您丈夫知道它们是赃物，那顶多也是窝赃、销赃罪。”

“我向您保证，他真的什么都不知道。不过，最令人惊讶的是这些案件发生的方式。纽约分行的刑事侦查员已经确认，我们纽约分行拍卖的所有珠宝和地毯，都盗窃自纽约曼哈顿的SoHo（苏豪）商业区。而我丈夫在不知情的情况下在伦敦拍卖的那些赃物，无一例外全部来自伦敦的Soho区。这使得伦敦警务处总部苏格兰场（Scotland Yard）和纽约警察局不禁开始比对彼此的数据。一比对不得了：要是一个晚上这边发生了一起盗窃，那么那边也会有一起，而且两起盗窃所盗之物每一次都一样。如果纽约SoHo区是珠宝被盗，那伦敦Soho区失窃的也会是珠宝。要是那边的贼卷走了地毯，那么同一个晚上，这边也会有地毯丢失。就好像我们这边的Soho区是纽约SoHo区的镜像，或者说纽约SoHo区是我们的镜像。”

“又或者，这些盗窃者提前串通好了。”

“有可能。但苏格兰场方面表示，这种情况可以排除。至于原因，他们不愿透露给我们的律师。苏格兰场已经认定有幕后黑手在计划和协调这几起盗窃案。在他们眼里，这个人就是我丈夫。”格洛克听得出她的声音里带着哀求。

“这案件真是古怪啊，”他答道，“我会联系您的。”

次日清晨，格洛克踏着浓浓迷雾，走进伦敦维多利亚大街，经过镶有“新苏格兰场”几个大字的金属棱柱，在苏格兰场的前台请求面见伯特·斯通（Bert Stone）警官。斯通警官坐在19层一个很小的单间里，格洛克也在这儿待过很多年。办公桌紧挨着房间墙面，不多不少给访客留下了放一个凳子的空间。斯通警官身后的那面墙上挂着一张伦敦市地图和一张美国曼哈顿街区地图。

“你知道我为什么而来？”

“我想到了，”斯通警官说，“我们已经观察这一连串入室盗窃案好几个年头了。整出事件简直疯狂。每周我们的伦敦Soho区都会发生好几起珠宝或地毯失窃案。但失窃的要么只是珠宝，要么只是地毯，而且，我们找不到任何行为模式、蛛丝马迹。我们只知道，珠宝和地毯失窃的频率基本一样。”

“就好像作案人员是通过扔硬币来决定作案对象的：反面朝上偷地毯，正面朝上偷珠宝。”

“可以这么说。我们非常仔细地观察了Soho区的盗窃案。数据库收集了很多数据，诸如作案人是从门还是从窗户进入房间的，或者盗窃是发生在底层还是顶层，他们偷走的是地毯还是珠宝。结论是：犯罪团伙从门进入和从窗户进入的频率一致，在底层作案和在高层作案的频率也一致。”

“他们每次的作案时间与作案手法有哪些联系，这你们知道吗？”

“我们本来以为，他们倾向于在特定街区选择盗窃底层，在其他街区选择高层；或者说工作日选这部分片区，周末选择另一部分片区。但结果，在这些方面，他们的盗窃同样毫无章法。所有能想得到的模式，我们在数据库里面都搜了个遍，却没有找到任何规律。完全没有什么能解释这些入室盗窃案的规律。”

“你们碰上一个高智商的犯罪团伙了。他们扔硬币，反面地毯，正面珠宝。随后还借助这类游戏决定是通过门还是通过窗户闯入，以及去第几层作案。而且直到作案之前，他们才会做出这类随机的决定，这样警方就无法预测接下来会发生什么。他们的策略能够非常完美地把你们带进死胡同。”

“你该不会是认真的吧，”斯通警官不耐烦地说，“这可是职业罪犯，不存在什么随机和偶然。”

“我绝对是严肃认真的，”格洛克平静地回答，“这个伦敦Soho区的团伙就是不按你们的逻辑出牌。他们随机行事，所以让你们难以掌握。你们已经搜捕这伙人很久了，我没说错吧？可至今一个罪犯也没抓着。”

“好。你相信有一群抛硬币掷骰子的小偷，但我坚持，犯罪过程是完全有规律可循的。”斯通警官说，“说起来，我们这么久都没联系了，今天怎么有幸在这儿见着你？”他顿了顿，又说：“我猜是与阿斯派克特先生被捕有关。你很可能已经听说了，这位拍卖行老板与几起纽约案件必有牵连。根据我们知道的线索，可以证明，你所谓的随机盗窃观点有误。”

“你们知道了什么？”

“几个月前，一位同行偶然得知了纽约警方未曾破获的谜案。他发现，纽约的案子和我们伦敦Soho区的案子只有一个差别：那边街区的写法是SoHo，而我们是Soho。同样都是毫无章法的一系列入室盗窃，地毯还是珠宝、从门过还是从窗过、高层还是低层——频率全部一致。你可以想象，当他得到这个发现，他简直难以置信。于是，我们就请求曼哈顿警局提供他们的数据来与我们的数据进行比对。”

“然后呢？”

“他们提供给我们的细节与我们自己的一模一样。伦敦Soho区丢了一块地毯，纽约SoHo区那边也丢了一块。没有任何一个晚上，盗贼的作案对象是不一样的——一个晚上都没有！楼层的选择、进入大楼的途径也都一模一样。如果这里是底层失窃，那边就也是底层；如果这边是破门而入，那边也是破门而入。就好像两起案件发生在同一处！你现在还相信什么随机事件吗？”

“我不知道。”格洛克迟疑地回答道。随后他又问：“你们为什么这么肯定这些团伙没有串通好呢？”

“我认为这是不可能的。你知道，我们监控了整个跨大西洋的数据往来。

无论是谁、何时何地，他们说的每一个字我们都可以听到，世界上每一台电脑上每一比特的信息我们都有记录。美国警方在这方面也不差。假如犯罪团伙对盗窃方式有过事先串通，而且还持续了这么多年，那么一定会在我们的服务器上留下蛛丝马迹。但是我们什么都没找到。”

“那你怎么解释隔着4000千米的距离，同样的案件会同时发生呢？”

“很简单。有人预谋了一个计划，两边的团伙执行的都是这同一个计划。”

“阿斯派克特先生。”

“当然是他。他在两边的Soho区各有一家拍卖行。而且两家拍卖行里，都发现了被偷窃的地毯和珠宝。”

沉默持续了好几分钟。格洛克避开斯通的目光，盯着窗外的迷雾。突然，他从凳子上跳起来，在房间里快速来回踱了几步，又重新坐下。最终，格洛克打破了沉寂：

“我可以看一下你们的数据吗？”

“只要你不告诉你我以外的第三个人。”斯通打开他的笔记本电脑，启动了一个程序后，递给他。格洛克输入了几个指令。

“我看了一下，你们针对每一起入室抢劫案都只采集了一个特征的数据。你们要么只知道是否是地毯失窃，要么只知道盗贼是不是从门入室的，又或者只知道盗窃案是不是发生在底层。但你们从未同时知道这三个特征。”

“是的，这是我们新的数据库，犯罪心理学家的杰作。犯罪心理学家发现，目击者说话时间越长，就越有可能提供更多自相矛盾的证据；当每位目击者只提供一项事实的时候，数据的质量最高。所以目击者只能回答一个由电脑选取的是非题，比如一位目击者需要回答的问题是：被偷的是珠宝吗？随后侦查人员就不允许追问更多了。所有的表格和数据库都是这么设计的，针对每起事件，你就只能输入一个事实数据。”

“我听说过。”

“宁可只有很少的细节，也不要错误的细节。我们科技部的领导说，那些犯罪心理学家把这称作海森伯（Heisenberg）犯罪侦查学。这位领导落实这个程序以后，那些检察官以及各个法院都很振奋。因为苏格兰场所提供

的一切证据，一瞬间都对上了。”

“这样一来，你们能用于办案的信息就比以前少很多了。”

“现在，给犯案者定罪，我们得协调比对尽可能多的类似案件。你别问我对此怎么看。在媒体面前我们是无可挑剔的，这正是警察局长希望的。在美国那边，他们现在也根据那种海森伯原理来探案：针对每起案件就只输入一个事实证据。我们只有接受的份儿。我们偶然发现，在几个案发的夜晚，伦敦和纽约提供的事实证据完全相同。”

“于是你们就认定，这是完美的重合。”

“正是。要是有一个晚上伦敦是从窗户入室盗窃的，那么纽约那边也是从窗户；要是这边闯入的是底层的房间，那么美国当晚也是底层。而另外一些晚上，两边事实证据的类别是不同的。比如我们知道窃贼拿走了什么，而他们那边只知道窃贼是怎么进入房间的。”

“那我们先把纽约放在一边，把所有注意力集中在伦敦。你们就没有发现任何符合伦敦的入室盗窃案的模式吗？”

“很遗憾，真没有。我告诉过你了呀。”斯通不耐烦地回答，“而且你也知道，原因不在我们。纽约的同事对发生在曼哈顿街区的盗窃案同样知之甚少。”

“我懂，我懂。”格洛克说，“这难道不奇怪吗？你们一口咬定伦敦和纽约的入室盗窃案有千丝万缕的联系。但当你们单独看其中一边的连环盗窃案时，就完全手足无措了。这就像是机械师声称了解关于你的汽车的一切，但是当你问到组成这辆车的具体零部件时，他们只是耸耸肩，一问三不知。”

“恐怕，目前的情况就是这样。”

“那么，我们更应该充分利用仅有的这些信息。你们针对一起入室盗窃案，只知道唯一一个事实证据。你们要么知道他们是不是从房门进入，是或否；要么知道他们是不是在底层作案，是或否；要么知道他们偷走的是不是地毯，是或否。你们做了三个是与非的提问。但是针对每一起盗窃案，你们永远只知道三个问题中一个问题的答案。”

“正是。”

“好。我们最好把这些都画下来。”格洛克抓过一支笔，随即给斯通画了这张草图：

		纽约		
		门?	底层?	地毯?
伦敦	门?			
	底层?			
	地毯?			

“像是奶酪盒子。”斯通说。

“功能也差不多。我现在要找出伦敦一起案件的问答，再找出纽约同一晚发生的案件的问答。比如：我们这边的窃贼撬的是门锁吗？同一个晚上那边丢的是地毯吗？我们把每一对可能的问题组合都填进对应的方框里。你同意吗？”

“可以。但你想干什么呢？”

“我想要试试看，你们的数据库里还隐藏着多少信息。我们现在开始双管齐下。找出这边的探员收集到门锁被撬的证据，而那边刚好丢了地毯的所有案发之夜。其他可能的问题组合我们也用同样的方式进行配对。就像这个奶酪盒子，刚好有九种问题组合。”

“对。也不必提更多的问题。因为要是关于撬门的答案是‘否’，我们就能知道他们是从窗户进去的。”

“你认为，两个数据库里我们能找到多少个答案刚好一模一样的晚上？”

“也就是说，在所有九种问题的组合里，一个框里面填了‘是’和‘是’，或者填了‘否’和‘否’的情况？”

“是的，我是这个意思。”格洛克回答。

“这显而易见啊，”斯通迅即答道，“刚好一半的夜晚是这样的。我们已知窃贼撬开门或者窗户，在底层或高层作案，偷地毯或是珠宝的频率都是一样的。这类事件当中每一个的概率都是五五开。你随便提一个问题，正确的概率就是50%。麻烦给我一下那个笔记本电脑。”

斯通输入了一些指令。半分钟后，他的脸上闪过一丝胜利的微笑。“看

吧，”他说，“有结果了。数据库评估了所有可能的问题组合。伦敦和纽约答案一致的夜晚刚好占所有案发夜晚的一半。”

“是的，我已经想到了，”格洛克说。他思考了一会儿，随即说：“阿斯派克特无罪。”声音不响，但是非常肯定。

“什么？”

“我说，根本不存在什么作案计划。”

斯通一时语塞。“你凭什么得出这样的结论呢？”

“很简单，亲爱的斯通，你只要会数数就行。我们假设你说的是对的，犯罪团伙按照预谋有计划地作案。比如，计划要求团伙在两个城市的作案时间都是4月1日，都要撬开底层的房门，并都偷走一块地毯。那么针对4月1日的案件，我就可以从下面三个问题中任选一个进行提问：他们是不是从房门进入？他们是不是在底层作案？他们偷走的是不是地毯？”

“这是自然，”斯通说，“可是我不懂你这么做想得出什么结论。”

“我想告诉你，你对于他们有作案计划的推测是自相矛盾的。因为三个问题当中，无论我选择哪一个问询伦敦的案件，又选择哪一个问询纽约的案件，你都必须回答‘是’。也就是说，当晚两地的犯罪分子都是从门进入了底层的房间，盗走了一块地毯。所以假如真的存在所谓的计划，我得到两个相同答案的概率应该是100%。你看这个奶酪盒子：

		纽约		
		门?	底层?	地毯?
伦敦	门?	是 是	是 是	是 是
	底层?	是 是	是 是	是 是
	地毯?	是 是	是 是	是 是

“我在每个方框左侧填写的是有关伦敦案件的答案，右侧是纽约的。两边的答案显然是每一处都一模一样，无论我提的是哪一个问题，我的命中率一定都是100%。但是你刚刚告诉我，根据你们收集的数据，一致的概率只有50%。你看，结论已经出来了。你的假设是错误的，不可能存在作案计划。”

“但是你认定的答案，只有在这一种特定情况下才成立。因为他们按照这一种计划去执行的话，给出的答案会全都是‘是’，当然所有的方框都是一样的。但是假如他们遵循的是其他计划呢？他们也可以选择在两个城市都通过窗户进入底层房间，并偷走珠宝啊。那么按照你给定的问题范围，你一会儿提出关于门的问题，一会儿提出关于地毯的问题，那我的答案就变成一会儿是‘是’，一会儿是‘否’了。所以你也不会始终从我口中得到相同的答案。”

“对。但是无论计划是什么，有一点是完全一样的：一个方框里填‘是，是’或者‘否，否’的概率都应该大于50%。而提问得到不同答案的概率究竟是多大？我们一起来看一下：

		纽约		
		门?	底层?	地毯?
伦敦	门?	是 是	是 是	否 是
	底层?	是 是	是 是	否 是
	地毯?	否 是	否 是	否 否

“看到了吗？九个可能的问答组合当中，有四组你给出了不同的答案，而有五组你给出了相同的答案。

“所以，假如作案者按照计划行事，得到两个相同答案的概率是九分之五，大概是55%。这个结果还是大于你们数据算出的50%，因此你的假设还是错的。而且，无论是哪一种情况，你都会得到九分之五的概率。所以无论如何，你的推测都是错的。不存在什么作案计划。”

斯通沉默了。格洛克编辑了一条短信，发给艾丽斯·阿斯派克特。随后他极目远眺窗外，可是浓雾太重，窗玻璃像一块灰色隔板似地挡住了视线。

“我无法反驳你，”斯通停顿了很久说道，“但是我不明白。要是真的没有作案计划，要是伦敦和纽约两座城市的犯罪团伙没有事先串通，那为何两地接连好几个夜晚会发生同样的事情？”

“没人理解得了，”格洛克回答说，“我自己只能解释说，在这两伙窃贼之间存在着一种内在联系。大西洋的这一头有一点风吹草动，在它的另一头也会同时发生一样的事情。”

“你就告诉我这个？约翰·格洛克，你作为苏格兰场从大学新聘的唯一一位物理学家竟然说这样的话？从前你有一半的晚上都在给我发表有关爱因斯坦的长篇大论：在同一时刻，一个因不可能在不同地方同时产生果，即便是光的传播，也需要时间。你都忘了吗？”

“这几起案件的雷同肯定是有原因的。或者，你相信吗，这些入室盗窃案可能只不过是你们数据库里的一些记录而已。”

“胡说八道，”斯通反驳道，“珠宝和地毯是真丢了。”

“好。这些案件冥冥之中还是有着紧密关联的，因此两边的窃贼不需要交换信号或者遵照同一份计划，就可以协调好盗窃案。”

“心电感应吗？约翰，这太荒谬了吧！”

“不是什么心电感应。”格洛克说。他双臂交叉，接着说：“而且也不违背相对论。我们没有任何证据可以证明两个团伙相互传讯，他们只不过是在两个地点做了相同的事情。这个问题最简单的解释是什么？伦敦Soho和纽约SoHo在这些窃贼看来是同一个地方。对他们来说，中间隔着的汪洋什么都不是。我们当然没法想象这种关联，但这难道就说明，空间与时间之外不存在任何世界吗？你知道我长时间以来都相信，在真实世界中，各处都只是一处。现在我们终于有一个证据了！总之，无论如何，你们要释放阿斯派克特先生。”

格洛克和斯通尝试弄明白的事件听起来天马行空，但它们符合物理学意义上的真实。为此，我们要感谢法国物理学家阿兰·阿斯派克特（Alain Aspect）。1982年，他通过一个著名的实验证明，不同地点的事件之间真

的会存在内在联系。这种联系不需要事前约定，也不需要交换信号。这些事件随机发生，因此可以排除隐藏计划或者有秘密信息传输的可能。但在像伦敦和纽约这样相隔甚远的两个地点，确实会同时发生一样的事件。就这样，物理学家阿斯派克特的实验从根本上挑战了我们对空间与时间的认知。

该项实验是真实世界违背传统逻辑最具戏剧性的三个例子之一。实验中发生的一切都符合量子力学的基本原理，这些原理规定了能量与物质的基本行为。阿斯派克特在他的实验中研究了多对光子，即光的基本粒子。他虚构了一个精心设计的布局：在不同的城市，窃贼不需要串通或者交换信号就可以同时做同样的事情，应如何作案的信息，都被编码在光子中。

两个光子只要同时由同一个原子发出，它们就会组成一对命运相连的“共同体”。这不难办到。虽然这两个光子发出后会离得越来越远，但却以一种神秘的方式相互连接着。在阿斯派克特最初设计的实验中，它们运动的距离是六米。而在后续实验中，一个光子会从西班牙的特内里费岛出发，一直运动到150千米之外的拉帕尔马岛。在目前奥地利和中国研究人员正在进行的实验中，光子对的其中一个光子由卫星出发前往维也纳，而另一个光子则前往中国。

光子运动到指定地点后，人们就会测量它们的状态。当然，这些基本粒子以及它们的特性既不能通过肉眼看到，也不能被拍成照片——这也像极了那些狡猾的窃贼。和斯通的侦察方式相同，量子力学的法则只允许问是非题，这很关键。毕竟，自然世界并不懂什么叫渐变色或者中间色。我们之所以有所谓渐变的感觉，是因为我们没有仔细观察——一幅黑白格的画面从远处看是渐变的灰色，但实际上不过是黑点与白点的集合。原子和基本粒子层面的道理也一样，只存在是或否、黑或白。自然世界也是数字的。

量子力学讨论的是自然向观察者传递的信息。人们可以提问，光子在测量的那一时刻是否已到达某个特定的位置——是或否。还有一个很好的问题是，这些粒子是否以某种特定的动量向前运动。在阿斯派克特的实验中，他提出的问题是关于光子的自旋——自旋就是基本粒子的内禀转动的轴向，人们可以研究这个轴向，看看这个粒子的自旋是否向上。

阿斯派克特不断地发射光子对，并观测它们是否向上自旋。最终他确认了两点：其一，这个问题的答案是随机的，答案为“是”和“否”的数目一样，但是其出现的顺序没有特定模式——就好像光子是通过掷硬币来决定自旋方向的；其二，光子对中两个光子所得出的答案是一致的，如果其中一个光子的答案已知，那么我们也就能知道另一个光子的答案了。

两个城市中的任意一个盗窃团伙都可以根据此类信息做出决定。例如，一

处的测量结果为“是”，犯罪分子就出动偷珠宝；而同一时刻，另一座城市的测量结果也是一样的。这些盗贼可以知道另一座城市的同行做了什么，并以此为依据，故而两座城市都会有珠宝失窃。两地的窃贼既不需要事先在日历上确定出动的时间，也不需要在作案的时候发送信号。因此，这一系列盗窃行为的步调就能够全然一致，并且完全无法预料。

如同20世纪大量伟大的物理学发现一样，这一发现也源自爱因斯坦。但出乎意料的是，爱因斯坦的初衷并不是证实事件之间不必交换信号也可以相互关联。他本来的目的恰恰是想要证明，这件事情行不通。

爱因斯坦原本的目的是驳倒量子力学。但恰恰是因为他认识到了光是光子的涌流，才产生了这一理论发展的道路。凭借量子力学，人类第一次知道了，最微小粒子的世界里在发生着什么；除去相对论，爱因斯坦对量子力学理论的促进作用可以算是他最重要的贡献。不过，爱因斯坦和他的这一精神成果斗争了一辈子。他曾写道：“内心有一个声音告诉我，这还不完备。”为了证实量子力学的这一不完备性，他于1935年设想了一个实验，也就是那个过了近半个世纪才由阿兰·阿斯派克特完成的实验。

爱因斯坦不喜欢的地方在于，根据量子力学理论，世界上本就存在偶然事件，即本质上无可预知的事情。也就是说，量子力学只能够预测概率，比如，某人设置了一个实验，实验的结果以是非题的答案呈现，可以预测的是，答案为“是”的概率为60%，答案为“非”的概率是40%。

根据量子力学，自然世界玩的是随机的轮盘赌游戏，这是爱因斯坦不能接受的。他一直坚信，世界在理论上是可以被解释、被预测的。有一次，他对自己的同事和朋友马克斯·玻恩（Max Born）反驳道：“你相信上帝会掷骰子，但我相信完全的法则。”

在20世纪上半叶，许多物理学家都对自然具有不确定性这一点深感震惊。但只有爱因斯坦认识到了量子力学形成的后果比这还要更加诡谲：该理论认为，两个曾经发生过相互作用的粒子，将永远保持相互之间的联结，因为携带着共同过往的信息将永远不会丢失。在阿斯派克特的实验中，光子对相互联结，因为它们有着共同的源头。但只有在它们后续“生命历程”中的某一刻，当两个光子受到某一力量的作用而产生相互影响时，这种联结才会显现。

这种联结被称为量子纠缠。量子纠缠的本质在于，携带着两个粒子历史的信息是不可摧毁的。无论两个粒子距离多远，这种信息都不会丢失。

这就是爱因斯坦思考的切入点。假如人们改变在伦敦的一个光子的状态，得到的会是一个随机的结果，但在纽约与之发生了纠缠的那个光子必定在同一时刻给出相应的结果——毕竟两个粒子处于纠缠态，相互的联结无法解开。这正是阿斯派克特后来实验观察到的结果，而且正是这一点让当时的爱因斯坦看到了矛盾之处。因为，如果伦敦的测量结果是随机的，那为什么在纽约的粒子能够如此快速地感知大西洋彼岸的这一随机事件，并给出相应的结果？这完全是不可能的，爱因斯坦解释说。根据相对论，信号的传播速度最高只能达到光速，因此，信号从一个地点到达另一个地点需要时间。但是纠缠态的相互作用却是即时性的，爱因斯坦将此戏称为“鬼魅般的超距作用”。他认为，量子力学不能就此成立，所谓的随机事件根本就不是随机事件。在这种奇怪现象的背后一定还隐藏着某种未被发现的“计划”。爱因斯坦已经认识到，自然世界有悖于我们的逻辑。但他不愿意承认这一点。

怎样才能找到这个隐藏的计划呢？如何确定计划是否存在？几十年来，这个问题都好像无解。直到1964年，北爱尔兰粒子物理学家约翰·贝尔（John Bell）灵光乍现，其想法与爱因斯坦犀利的直觉不谋而合：隐藏的计划一定会留下蛛丝马迹，而且只要通过数数，就可以发现这些痕迹。如果真有这样的计划，它一定会改变特定事物同时发生的频率。通常来说，研究量子力学的过程是与复杂的数学博弈的过程，约翰·贝尔却凭借很多人小学就会的运算剖析了量子力学那令人困惑不已的内核。

侦探故事中的约翰·格洛克也使用了这个原则，即频率的计算——两个不同案发地点针对一道是非题给出相同答案的频率。通过这种运算方式，他向吃惊的斯通展示了，如果作案前沟通过计划，那么产生这种相同答案的频率会相对更高。

物理学家阿兰·阿斯派克特在他最初的实验里，探究了光子对自旋的方向。他通过对自旋测量仪器设置不同的问题，研究光子对与测量结果相匹配的频率，随后对数据一致的频率进行计数。根据计数结果，他最终确定，不存在所谓的隐藏计划。原因是，如果光子对确实遵循某种计划，那么测量结果一致的频率一定会不一样。

随着新的实验排除了最后的疑虑，可以确定的是：不可能存在一个规定了每个粒子命运的隐藏计划。在遥远的两地同时发生的确实只是随机的事件。爱因斯坦错了。

这些关于量子纠缠的实验有个著名的别称，叫“超距传送”——是根据《星际迷航》的宇宙飞船“企业号”（Enterprise）上的传送装置命名的，柯克

船长和船员们能够通过它被瞬间传送到陌生的星球上。如今，纠缠态的光子已经可以被传送几百千米，而且马上就会达到数千千米。这一种状态的联结也慢慢被应用于信息传输领域，以防止窃听。

能被超距传送的已远不止基本粒子，来自牛津的物理学家甚至成功地使两颗钻石进入纠缠态。钻石的大小几乎要赶上一个指甲盖了，当人们研究其中一块钻石的状态时，另一块钻石就像神奇的水晶球一样能够瞬间给出相同的结果，即便这结果是不可预知的。

此类实验的难度并不在于制造纠缠态，而在于阻止形成不必要的纠缠态。窍门在于将处于纠缠态的两个物体与周围环境隔离开来，这样它们就不会向其他物体传递信息。否则这种纠缠态就会被稀释，如同被风吹散的香气，无法捕捉。正是出于这个原因，我们无法察觉日常生活中的量子纠缠——因为它无所不在。

但是，爱因斯坦对此的异议也同样无法反驳：处于纠缠态的两个物体，虽然处于不同位置，但它们中间就像没有空间间隔一样。其中一个物体随机给出一个答案，另一个物体无论相距一毫米或是几百千米都能同时给出相应的答案。这怎么可能呢？难道存在超越时空结构的内在联结？难道远近只是我们用于描述方位的名词，但这一名词在真实世界的更深层面上毫无意义？

我们很难接受纠缠态不是“鬼魅”，而是真实存在的。即便人们能够接受一个由随机事件主宰的世界，也不能接受一个不存在空间的世界。日常经验使我们不由地认为，空间就像一个盒子，里面装着一切事物，我们是在空间里面去看、去听、去感受一切能够被感知的事物的。而一个没有空间的世界，只可能是鬼怪的世界，对我们而言太过陌生。

空间，跟时间和意识一样，是我们人生体验的锚。因此，我们会试着将三者归入不可说明的行列。但就像第8章将会讲到的，时间的流逝只是秩序的崩塌。许多证据显示，意识是几十亿神经元共同作用的结果。那么，为什么唯独空间不可说明呢？

我们体会到的空间，可能只是对事物关系的粗略说明。左和右，上和下，前和后，只有当事物相互纠缠时才会产生：那么，“近”这个字就像人际关系一样，描述的是一种强烈的联结。所以空间或许不是盒子，而是一张网？一张由我们周围的一切共同编织而成的网。那么格洛克说的没错，世界上的各处在真实世界里只是一处。

几周以后的某天上午，一个黑衣男子出现在了格洛克家门前。当时格洛克正像往常一样一动不动地坐在桌前，注视着伦敦的绵绵细雨，自信很快就能完成他的手稿。男子向他鞠了个躬，递给他一个和纸做的信封，没有说一句话。

片刻后，格洛克点了点头，将信封放到一边，穿上大衣。随后启程前往中央公园，半小时后他将与艾丽斯在那里见面。

---

1. 译文参考张密、杜颖、翟恒所译的《宇宙奇趣全集》（译林出版社，2012）译出。

6 这个世界是真实的吗 希格斯场

一把锤子砸到大拇指，

但锤子和其他所有物质一样，是由虚空组成的。

为什么这虚空的东西能带来如此强烈的疼痛？

以及：真的有这种虚空吗？

当我说“无”的时候，

我在无中生有。

——维斯瓦娃·辛波丝卡（Wisława Szymborska）

在某部史上非常成功的电影里，人类不过是虚拟世界的牺牲品。他们的房子直插云霄，街道上人来人往，男男女女的触感和气味都如同真的一样。在那个世界里，人们也会建立友谊，同事、伴侣之间也会争吵——和我们现在生活的世界没什么两样。在电影中，只有少数人知道真相：这个世界里的房屋和街道连实体布景都算不上，周围的人也不是真人。人类所体验的一切只存在于所谓的矩阵之中，影片中的矩阵是一个能够模拟现实的巨型计算机程序。凭借这个程序，全能的机器把智人（Homo sapiens）变成了可以随意摆布的奴隶。

《黑客帝国》（*Matrix*）及两部续集在上映后获得了超十亿美元的票房。其中一个原因是，它们恰如其分地展示了当代人在越来越依赖计算机的过程中所产生的不适感。这一系列电影也引起了我的共鸣。当然，我绝不认为计算机会设计陷害人类，即便一些当代哲学家告诉我们，人类极有可能生活在“后人类文明”设计的虚拟现实中而不自知。这样的论断并不能让我信服。

当然，我并不相信，我们的所见所感就是现实，我也不是第一个产生这种怀疑的人。古老的文明早就提出，这个世界可能是虚幻的。距今将近三千年的印度哲学经书就已经涉及了这个问题。好莱坞电影里的所谓“矩阵”在《吠陀经》（*Veda*）里叫作“摩耶”（Māyā）——意为难以看穿的幻象，幻象的背后蕴藏着一个完全不同的现实，或者说根本不存在什么现实。之后的佛教则认为空即是真，我们周遭的事物与躯体本来就空无一物，这些事物的意义由我们的认知过程赋予，发自我们的心识，所有感受不过是一

场梦，而且大多数人并不会从这个梦中醒来。同样，古希腊的思想家也有类似的观点。这些东西方的思想家都不约而同地指出，人生最值得追求的目标就是把自己从这种幻象中解脱出来。

不过，对真实世界的怀疑并没有让我们夜不能寐，因为周遭实实在在的东西总会使我们心安理得。虽然我们有时会怀疑世界是否真的和我们感受到的一样，但这样的想法最终也会因为一些感知而消失。毕竟，我们真真切切地看到、触到、嗅到了周遭世界。所以，我们的怀疑在转瞬之间就败于实际体验之手。来自纽约的哲学家西德尼·摩根贝沙（Sidney Morgenbesser）曾被问到一个问题：世界为什么一定要有物存在，而非万物皆空？他答道："因为即便一切皆空，你还是会为此苦恼。"

试图通过"见怪不怪"的麻醉剂来平息这种怀疑，并不能根除内心深处的疑惑。比如当我们看到《黑客帝国》这类电影时，内心会受到触动，心中的疑惑随之慢慢浮了上来。透过尼奥（Neo）的双眼，我们看到电影营造的世界，并且目不转睛地跟随他拆穿所谓日常经验的假面，最终进入矩阵的代码之中。这时我们不禁设想，我们自己是否也经历着同样的事情呢？我们自以为的真实或许只是个梦幻泡影。当然，制造这种梦幻泡影的不一定是电脑，也可能是其他的一些什么。看过这部电影后，一些电影画面在我的脑海中久久不散，甚至使我联想到一些物理学知识。人类会借助切实存在的物质，来消解对这个世界的疑惑：我们认为，双手触摸到的桌子是结实的、稳当的，所以毫无疑问也是真实的。但当我们更加深入地观察物质时，就会看到它们层层分解，失去了我们所熟悉的每一种特质。

所以物质本身是一种幻觉吗？但有谁能够肯定世界不仅仅是幻觉呢，他又拿什么来证明呢？这显然是一个更为值得深入探究的话题。

当我坐在椅子上时，椅子承受着我身体的重量；当我把手放在桌上时，我能够感受到桌面对手产生的作用力。所有的物品都有体积、质量和形状，能够对受到的力产生反作用力。看起来，我们身边的物体都是如此，即使是空气也会在我行走的过程中被推开。被锤子砸到大拇指的人看着自己已经发青的指甲盖，应该也不会相信这个锤子只存在于他的意识当中。

锤子是物质的，是扎扎实实的。它和地球上其他一切事物一样都由原子组成，原子的真实性也同样不容置疑。近几年，人类甚至已经能够在扫描隧道显微镜里看到它们云雾状的成像。在构成锤子的铁晶体之中，原子们如同士兵一样整整齐齐地排列着。

但这些原子又是什么呢？真正的云是由水蒸气、小水珠和冰晶组成的。但

在云雾状的原子壳层中几乎什么也没有，只有几个电子来回穿梭。比如，在铁原子里，这样的电子一共有26个。原子其他的地方都是空的，只在正中央有一个原子核，这个原子核小得几乎看不见，相比之下，原子壳层的云雾显得巨大无比。假如把原子核比作蚊子的话，那么原子壳层就像是一间偌大的音乐厅。

在这个巨大的建筑中，我们几乎找不到蚊子的踪影。那么，在这音乐厅和蚊子之间究竟存在着什么呢？在原子壳层中，除了电子和原子核，还存在着什么？在锤子里，又存在着什么？答案是真空的空间，是虚空。可是，那充斥着虚空的锤子为什么会让人产生如此强烈的痛感呢？

把原子比作空旷的音乐厅，这是欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford）首创的。他第一个发现了看似结实的物体内部其实是虚空的，他把这一发现称为“我一生中最不可思议的经历”。卢瑟福是史上贡献最大的实验物理学家之一，他于1871年出生在新西兰最南端的一个农村家庭，在12个孩子中排行老四，大学毕业后，他乘坐蒸汽轮船前往英国，在剑桥大学开启了探索放射性物质奥秘的旅程。他比同行更早地意识到了放射性研究将会导致的后果。1903年，他描述了原子核内部能够释放的巨大能量，他说，如果能够成功启动链式反应，就可能“使昔日的世界灰飞烟灭”。

1911年，卢瑟福与德国同事汉斯·盖革（Hans Geiger）一起成功地完成了相应的关键性实验。汉斯·盖革后来发明了能够用来探测电离辐射强度的盖革计数器。两位物理学家在这场关键性的实验中用氦核粒子轰击金箔，轰击过程中，几乎所有的粒子都穿过了金箔，就仿佛金箔不存在一样。这就好像在整个实验的过程中，盖革和卢瑟福都在对着一个空旷的空间射击。在两万次轰击中，只有一个粒子被挡了回来，而且反弹力度相当之大。根据这一石破天惊的发现，卢瑟福得出了三个结论：第一，被弹回的粒子击中了金原子核；第二，金箔几乎全部的质量都集中在微小的原子核上，电子游走的原子壳层决定了金原子的体积，几乎不影响原子的质量——也就是说，这只蚊子的质量比整个音乐厅大上千倍；第三，这个如同云雾般包裹着原子的巨大壳层里面真的几乎什么也没有。由此可见，那些我们习以为常的事物就如同星系之间的宇宙空间一般空洞。

不过，卢瑟福认为原子核是实实在在的。他认为，能把粒子弹回来的一定是某种结实的东西。但在这一点上，卢瑟福错了，原子核的内部其实也是空的。作为卢瑟福的精神继承者，如今的粒子物理学家试图通过轰击使这类原子核解体。实验过程中，粒子会通过巨大的加速器，来获得必要的轰击速度。位于日内瓦的欧洲核子研究组织（CERN）拥有一个长达26千米的环形隧道，被认为是人类有史以来最大的加速器，上千名物理学家在这

里开展研究工作。我曾到访该组织多次，在那个岩层深处的洞穴里，粒子探测器如同一幢幢高楼矗立，我感到自己如此渺小，这感觉是在任何其他建筑包括金字塔跟前都不曾有过的。

这些巨大的探测器证实了，那些看似结实的原子核其实也是由更基本的粒子组成的，这种粒子就是夸克。因此，原子核其实也是一团云雾，而不是坚固的结构。云雾中有一些夸克在穿行，而夸克之间也都是虚空的。

所以，整个原子其实都是由虚空组成的。因为即便原子壳层中的电子及原子核中的夸克都是真实存在的，它们也并不占据空间，加速器也测不出它们的体积。人类难以想象得出这种没有体积的东西并不奇怪，早在物理学家于20世纪上半叶开始研究原子时，他们就不断地遭遇这类悖论。当人类不经意地尝试用日常的眼光来看待另一种真实时，这看似矛盾的悖论就出现了。根据日常的眼光，我们把基本粒子看成小球：因为日常经验告诉我们，物体都很实在，需要占据空间，同理原子也应如此。这好比在贝尔塔·本茨（Bertha Benz）[注]开上她丈夫制造的车首次长途旅行时，她停靠的旅店老板问她的马需要什么样的饲料一样。

物质的真实性状与我们体会到的全然不同，它们的组成成分没有固定的外形。基本粒子也不是小球，而是一种能态，它们就像真空中突然闪现的火光。英国物理学家詹姆士·金斯（James Jeans）曾写道：“物质就像害怕、惊吓、不安这类情感，企图用体积来描述它们是无意义的。”也许我们可以把这些基本粒子想象成由非常细的铅笔笔尖在空间里不断轻点所画出的点，这些点不断移动，来来回回。而那些在我们的感受中有血有肉的物体，实际上就是这些虚空中用铅笔点出的游移的轮廓——就像是描画本上引导儿童连线的小小的数字。

在这些舞动的数字之间还游走着其他一些粒子，因此，原子内各组成部分的联结就此形成了。在原子核与原子壳层的电子之间进行交换的是光子，也就是光的基本粒子。光子是纯粹的能量体，传递的是电磁力。

这一切是如何发生的呢？在本书第1章中提到蔷薇之美的理查德·费曼先生非常形象地描述了这种不同粒子之间的相互作用：当一个电子释放能量时，就会产生一个光子。这个光子会获得电子失去的那部分能量，随后，光子会向原子核移动，并传递这部分能量。当原子核接收了这部分能量，光子就消失了。不过，原子核本身也会释放能量，吐出一个光子，送到电子那里去。通过光子的相互交换，原子核和电子就彼此联结在了一起。这样的场景已经被转译成了物理学家手头司空见惯的计算式。

通过交换光子，原子内部便形成了一种特定的阵型——就像足球场上一旦开球，就会立刻产生一种秩序。球队会开始排兵布阵，从而形成最佳的传球方式。光子在原子中的作用就像是绿茵场上的一颗足球——它决定了合适的间距以及整个传递过程的空间范围。它还通过电磁力的作用使原子聚合在一起，从而产生云、水滴和晶体。是光子创造了秩序。

因此，我们就产生了幻觉，以为自己生活在一个由各种实在物体组成的世界里。由于这些本身并没有形态和体积的粒子彼此建立了联系，所以虚空就有了形状。由于这些幽灵般飘忽的对象之间的联结，我们感受到那把锤子和我们的大拇指都是立体的。此外，这种联结还使我们在被锤子砸到后产生了痛觉。由于铁锤内部的粒子之间以及手指内部的粒子之间都存在着强烈的联结，所以，铁锤里的虚空是无法轻易穿透大拇指内的真空的。

此外，在我们抓起铁锤的时候，不仅仅能够感受到它的体积，还能够感受到它的质量。因此我们需要用力才能将铁锤砸向钉子。当我们不小心敲偏而砸到手指的时候，铁锤的质量就会带来痛觉。

那么，质量又是从哪儿来的呢？铁锤是由没有体积的粒子聚合而成的。为什么在这种粒子构造中会存在质量呢？虽然没有人真的把光子或痛感放到天平上称量，但人类已经知道，这些粒子之间已经建立了联结，而这种联结传递着能量。比如，联结电子和原子核的能量由光子来传递，是光子把它们联结在一起的。正如爱因斯坦所说，每一份能量都有相应的质量，因此，这些相互联结的幽灵般的粒子就有了质量。

其中最强烈的联结存在于原子核中。在那里面，一些胶子（gluon）在夸克之间来回穿梭，它在原子核里的作用就像是联结原子核和电子的光子一样。在原子弹爆炸的过程中，胶子携带的巨大能量中的一部分被释放出来。[注]而当我们举起一个物体，或大力将锤子砸向目标物时，我们所感受到的质量就类似于原子弹爆炸时释放的能量。但这种我们感受为质量的能量并不是自然存在的，它只有在粒子之间建立起联结以后才会产生。

尽管粒子本身具有质量，这种质量比由上述联结产生的质量小很多。如果可以将组成铁锤的所有夸克和电子都上秤称重的话，它们加在一起的质量可能也只占百分之九。可即便铁锤里头这些粒子的质量很小，也还是不能小瞧了它们。因为这占比很小的质量非常重要：正是因为夸克和电子自己具有质量，所以它们才能彼此产生联结；正是因为自身有质量，这些粒子才会受到加速的阻力。否则，没有质量的夸克和电子将会以光的速度彼此

擦肩而过，最终无法形成原子。

但是没有体积的粒子为什么会有质量呢？物理学家花费了几十年的时间研究这个问题。直到2012年，人们借助日内瓦的粒子加速器才解开了这个谜题。为此，研究人员还对加速器进行了改进，使得该设备能够产生难以想象的能量密度：它可以在百万分之一克的质子内部汇集足以熔化一吨铜块的能量。通过该设备的加速，粒子能够以99.999999%的光速穿过几乎完全真空的环境。而且，环形隧道中的超真空管内部的气压比月球上的气压还要低十倍。

粒子物理学家发现的理论是，所谓的真空之中并不是绝对的虚空。这种虚空中其实存在着一种叫作希格斯（Higgs）场的东西，这是以苏格兰物理学家希格斯的名字命名的。希格斯场中粒子的性质与一切我们熟知的事物都不相同，它能完全被光穿透，没有形状，无法直接被证明，但又无处不在。

我们可以把希格斯场比作一片巨大无比的雪原。在昏暗的光线中徒步穿越这片雪原的人是无法感受到具体的雪的——他只能看到一片漫无边际的白色。同理，希格斯场漫无边际地均匀地包围着我们，我们既不能察觉也无法测量它。但雪原上的行人每走一步，都一定能感受到当腿脚陷入雪中时雪原产生的阻力。同理，希格斯场以同样的方式阻碍着粒子的运动。它放慢了粒子的脚步。

当日内瓦的物理学家向全世界公布他们的发现时，新闻里所提的并不是希格斯场的发现，而是“希格斯玻色子”的发现。希格斯玻色子就像是大雪里的片片雪花：与希格斯场不同的是，这存在于单调的广阔区域中的微小结构是能够被证实的。欧洲核子研究组织就已成功地证实了这一点。

该项研究耗资超过100亿欧元，这值得吗？答案是肯定的。研究人员通过掌握希格斯玻色子的衰变特征和衰变道，最终发现了它，并证实了粒子理论家的理论是正确的，也同时证明了看不见的希格斯场是真实存在的。由此可知，物质粒子的内部虽然充满了虚空，但这些粒子还是能从希格斯场中获得它们的质量。因为只要夸克或电子要运动，就都得穿过雪原，而整个希格斯场会对运动的粒子产生阻力，放慢它们的速度，这种阻力会让我们以为，粒子是有质量的，但事实上，我们感受到的是真空中希格斯玻色子的黏滞作用。

此外，希格斯玻色子还解释了为什么所有粒子的重量并不完全一致：希格斯场对一些粒子的阻力大，而对另一些粒子的阻力小。这就好比滑雪者可

以快速地滑过雪原，穿靴子的徒步者却只能在过膝的雪地里深一脚浅一脚地缓行，而飞行的鸟儿则可以在雪原上空倏忽而过，根本不受任何牵绊。电子就像滑雪者，夸克就像徒步者，而光子就像天空中的鸟儿。电子在希格斯场中速度飞快，夸克比较慢，而光子在希格斯场中完全可以畅通无阻地穿行。故而，电子的质量小，夸克的质量大，光子则完全没有质量。但正是得益于希格斯场的这种性质，世界上才可能产生稳定的物质。不过，希格斯玻色子本身并非物质，而是真空的产物。

这种奇特的希格斯场，是在宇宙大爆炸后的宇宙膨胀和冷却阶段形成的。在那之前，宇宙处在难以想象的高温之中，希格斯场也显得无限的轻柔，不会产生任何阻力。所有的粒子都能以光速飞行其间，所以它们既没有质量，也不存在彼此的联结，每一个粒子都是独来独往的。不过，就像水冷却后会变成雪花和冰块一样，希格斯场也慢慢变得黏稠。在这之后，根据希格斯场对不同粒子的不同阻力，基本粒子之间的差异就出现了。这种通过真空产生的阻力，我们称之为质量。正是因为这种阻力的存在，宇宙中才会产生各种形状各异的物质。正是这些成本高昂的实验告诉了我们：我们人类的存在得益于那虚空中的微妙变化。

那么，这个世界是真实的吗？不管最终的答案是什么，这个世界的性质都与我们体会到的截然不同。我们确实是生活在一个“矩阵”之中。但是，我们所经历的假象并不是电影里无所不能的计算机创造出来的，而是人类自己迫不得已地创造了周围的幻象，为的是不至于在这个错综复杂、令人费解的世界之中迷失、彷徨。

戈特弗里德·威廉·莱布尼茨（Gottfried Wilhelm Leibniz）一定会因为上述发现而感到高兴的。这位曾于1700年前后为汉诺威公爵管理图书馆的天才哲学家、数学家、发明家，也是德国史上最杰出的思想家之一，他曾提出：“为什么存在者存在，而无却不存在？”出于对他的敬佩，甚至有一款德国的黄油饼干也是以他的名字命名的。莱布尼茨几乎能解答所有问题，他还发明了乘法器，构建了自己的哲学体系，并在与同行艾萨克·牛顿的辩论过程中奠定了近代物理学的基础。

他曾写道，世界为什么存在，这是“人类首先值得一问的问题”。面对这个一切问题的源头，他沉默了。“因为，无比有要简单得多。”

不过，莱布尼茨将这种无看作绝对的真空。他没有意识到，考虑一切都不存在的情况是毫无意义的。因为在这种情况下，人们一定默默地预设了那不在的东西其实是存在的。这样一来，这个定义本身就自相矛盾了。莱布尼茨所设想的无所不包的“无”，就好比是一个由独角兽守护着却不存在独

角兽的宇宙。

就像物质与我们设想的完全不同那样，无与我们的理解也不同。无并不是绝对真空的状态，而是一种无形的状态。无，是一个还未开演的舞台，是一个一切都有可能出现的空间。我们所经历的一切都是这个舞台上的一出戏——无中有序，一闪而过。这些有序的事物，我们称之为铁锤、大拇指、地球、天空、男人和女人。

---

1. 贝尔塔·本茨，汽车发明家卡尔·本茨的商业伙伴和妻子，第一个驾车长途旅行的人。
2. 主流观点认为，胶子将夸克结合成质子与中子；在常见模型中，它们再由介子结合成原子核。原子弹爆炸中释放的能量来自核子间结合能。“释放胶子能量”的说法过于简化。

7 “这到底是谁干的好事？” 暗物质和暗能量

我们生活在一个暗影重重的世界里。

无论往哪儿看，存在的东西都比实际看到的多20倍。

多了些什么？我们毫无头绪。

但要是没有暗能量，没有暗物质，

我们可能就不会存在。

我很喜欢看一些老地图。其中最美的是航海时代的地图，上面的许多大陆对当时的人来说还是十分神秘的。我会想象自己在哥伦布航海结束的两代人后，带着一纸地图启程探索世界。在中美洲的海岸边，我可能会把1606年绘制的地图当成自己最好的向导。在这张地图上，制图师用精细的笔触描画了海岸线、河口以及当时正在形成的聚居地，其精度与现代地图相比也毫不逊色。但是当人们的目光进入地图中央时，画面就显得空了，只有几条蜿蜒穿过山体的河道，探险家们可以用来驻足歇脚。在河道的左右两侧以及源头上，制图师画了一些小山丘，大概是为了表示推测这些地方会有山体存在，但在当时，没有一个欧洲人亲眼见过这些山。而在这些山后面，也就是大陆的中间，我们会看到一些半裸着的人，上面写着“食人族”。我总是惊叹于这些制图师将精准的描绘与想象融为一体的能力，他们知道在这些刚刚被发现的海岸线后面隐藏着太多不为人知的事物，纵使几百年后到此的探险家也一定会满载惊喜而归。这样一想，整个世界好像突然变大了不少。

当我仰望夜空的时候，我能体会那些航海家当时面对新世界的海岸时内心的澎湃。目光游走于无垠天空之中，那广袤的宇宙是多么摄人心魄啊，而当我知道在可见世界的背后还隐藏着那么多未知时，内心的震动也毫不亚于此。对探险家来说，那些海岸只是美洲大陆浮出海洋的边界，而夜空只是一个闪烁着的前哨站，背后不可见的世界要广阔得多。

近几年，人类得出了一个数字，这个数字一定会令许多求知欲旺盛的人心烦意乱：将近85%的宇宙组成是完全未知的。换句话说，无论我们往天空的哪一个方向眺望，看不到的东西至少是我们看得到的东西的五倍。这些东西是什么呢？我们不知道。目前，没有任何一项研究能够探明这些未知

事物的身份。

我们生活在暗影重重的世界里，周围充斥着我们一无所知的看不见的巨量物质。但当它们在夜空里描画重影的时候，我们可以感知到这个暗影世界。星星会突然改变亮度，星系会被光圈环绕、放大、扭曲，出现二重影像或四重影像。宇宙空间中的这些幻影有些像微笑的脸，有些像十字架。其中一个最美的重影要属位于飞马座的爱因斯坦十字架，这个重影直到1985年才被发现，但即便是业余的天文学爱好者也可以通过望远镜看到它。它由四个同等亮度和形状的光斑构成，这些光斑就像希腊十字架的四个等臂。在超过80亿光年之外，存在一个同等亮度、同等形状的星体，就如同被万花筒折射一般，呈现出这四个等亮的光斑，而在十字架的中间，有一个闪耀的星系。通过光谱分析，研究者得出这四重影的强烈光源是一个类星体：光源之中藏有一个黑洞，它吸收物质，并使这些物质在急剧加速的过程中迸射出最后一道耀眼的光芒。

在1985年，这个神秘现象的真相还处于一团迷雾之中。人们当时仅能够借助相对论来解释这一现象：从地球上看，那个闪耀的星系和那颗类星体正好一前一后，而且星系刚好挡在类星体前面。正如爱因斯坦曾经断言的，质量巨大的物体能够扭曲空间。因此，在这种大质量物体的附近，光线的传播路线不再是直线，而是弧线。早在1919年发生日全食的时候，爱因斯坦的预言就已被证实了。那一年的5月29日上午，当南美洲上空的星星冉冉升起时，它们都发生了些许位移，而且距离太阳越近的星星，它们位置的改变就越明显。这是因为太阳巨大的质量使空间发生了扭曲，从而曲折了星星的光线。《纽约时报》为此发布了一篇报道，称“所有的星光都发生了偏斜。爱因斯坦理论的胜利。星星离开了原来的位置，也不在通过数据计算得出的位置上，但大家不必惊慌”。

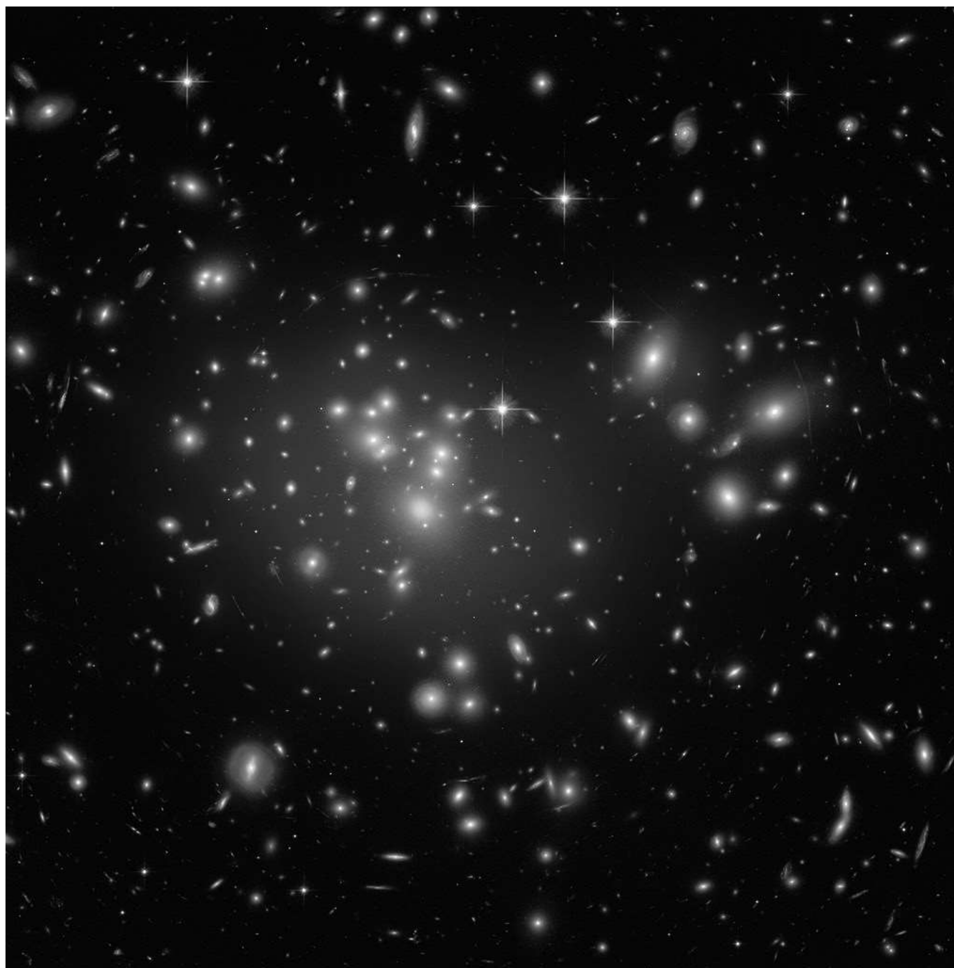
同理，位于爱因斯坦十字架中心的星系也使空间发生了扭曲。但由于这个星系拥有足足十亿颗星星，因而它所造成的扭曲要比太阳复杂得多。也因为此，类星体的光才会从不同的路径绕过该星系，并在宇宙中形成四重影。天文学家认为没有必要为这一现象感到震惊，像爱因斯坦十字架这样的重影虽然极为壮观，但也不过是广义相对论的又一有力证据。

爱因斯坦还曾预言，引力能使空间变为透镜，而远方的星系通过这样的宇宙放大镜可以显得更大。在过去几年里，人们真的发现了这种奇异的放大镜。位于室女座的巨型星系团Abell 1689（阿贝尔1689）就是其中最庞大的一个引力透镜，它与地球的距离超过20亿光年。这个星系团扭曲了空间，并弯折了光线，使遥远的星系变成了环形的光圈，并且把位于Abell 1689之后的天体也放大了。通过Abell星系团，天文学家得以于2008年发

现了一些宇宙中最古老、最遥远的天体。通过引力透镜这种天然望远镜，天文学家观测到了可见宇宙边缘上的一个星系，这个星系早在宇宙大爆炸的几十万年以后就形成了。

但是，真正的惊喜是Abell 1689本身。根据勘测，星系团内并没有足够多的星星来产生如此震撼的效果，人们也完全无法察觉能够如此明显地扭转宇宙空间的质量群。但不可否认的是，透过Abell 1689看到的天空确实变大了，而且其中遍布各种光圈，这种现象只有在空间发生了剧烈的弯曲时才可能出现。所以，是什么物质促成了这种现象呢？

至少有两种可能。其一，我们熟知的引力定律是错误的，远距离的引力远比想象的要大得多，爱因斯坦和牛顿都不全对。一小部分天体物理学家确实相信这种可能，不过，我个人对此并不信服。引力定律在其他所有场景下已经被证实是正确的，那些想要否定它的人，得先提供其他更好的解释。但是就目前而言，还没有人能够做到这一点。



Abell 1689，由哈勃太空望远镜拍摄并发回地球

其二，为了解释像Abell 1689这类天体周围光线剧烈弯折的现象，另一种可能性更为简单：引力定律没有问题，但Abell 1689内部包含的物质比我们能够观测到的多得多，星星只占汇集于这个星系之中的所有质量的一小部分。这是大多数天体物理学家的假设，同时也是我所信服的。因此，Abell 1689的绝大部分应该是由本身不发光也不发射任何电磁波的物质组成的——这种物质就是暗物质。

Abell 1689具有能使光线过分弯曲的引力，这暴露了暗物质的存在。通过对宇宙透镜的强度、扑朔迷离的光圈形状以及重影的计算，可以得知这些不可见的物质藏身何处。据计算，Abell 1689星系团中的每一个星系都被云雾一般的暗物质晕环绕着，这些暗物质晕比星系中所有的星星加在一起

的质量还要大十倍、百倍，甚至千倍。而且，整个星系团也同样被暗物质晕环绕着。

正是有了这种云雾般的暗物质晕，Abell 1689才有可能存续。没有了它，这个星系团可能早就消散了，或者这个星系团从一开始就不可能形成。因为形成Abell 1689的星系相对运动速度非常之快，足以产生巨大的离心力，所以如果没有暗物质的云雾将它们笼罩在一起，它们可能早就四散到了宇宙的各个角落。不仅如此，那个在夜空中勾勒出爱因斯坦十字架的星系也有90%是由暗物质组成的。

宇宙的各个角落都是如此。正是因为有暗物质将这些发光的物质聚集到一起，宇宙中才可能存在各种构造。暗物质就像是宇宙的黏合剂，每一个星系，包括银河系在内，都被它包裹着。2014年，天文学家终于发现了第一批暗星系。我们所在的银河系，在宇宙中也有一个“黑暗的孪生兄弟”。它位于后发座附近，大小与银河相仿，但几乎完全是由暗物质组成的。

暗物质不仅仅充斥在广袤宇宙间发光的星系周围，它还会形成自己的结构，并充盈在星系间的空间里。那些散布在暗物质之间的发光天体就像点缀在一大块巧克力蛋糕上的奶油碎花。所以，我们在天空上看到的一切光亮，难道仅仅是装饰而已吗？

在我看来，21世纪的宇宙学家就像早期的航海家，他们在一个遥远的大陆登陆，看到了眼前的一座巨大的海岸山脉，不禁猜想，这后面藏着什么呢？四下里浓雾笼罩着山脉，以至于他们连山隘都看不清楚。

关于暗物质，我们所知道的仅仅是它们不发光，也不发射电磁波。因此，它们一定与我们所认识的世界截然不同：在我们所了解的世界里，所有可见的物体都会受电磁力的作用。电磁力使原子核和电子组成原子，使原子组成液体和固体，并使不同液体或不同固体相遇时产生阻力。光其实也是一种电磁波。与所有这些不同的是，暗物质不会对电磁力有任何反应，因此它无法被感知。这些暗物质就像幽灵一样，能够畅通无阻地穿过一切可见的事物。有科学家估算，每秒钟就有几十亿暗物质粒子穿过我们的身体，而我们毫无察觉。对这些暗物质而言，我们是完全不存在的。

但是暗物质的暗影世界会对宇宙产生影响，因为暗物质可以凭借自己的质量吸引其他有质量的物质。同样，暗物质的引力作用也会对我们产生影响。我们所熟悉的银河系螺旋状的形态就是由暗物质引力造成的，而且它还可能直接影响地球活动。根据粒子物理学家丽莎·蓝道尔（Lisa Randall）的观点，恐龙的灭绝也与暗物质有关。任职于哈佛大学的蓝道

尔曾自问，为什么大型彗星会定期撞击地球？她认为自己已经从这些灾难发生的规律中找到了一个范式：差不多每隔3000万年，我们的星球就会被其他天体频繁撞击。她认为，这取决于集中在银河系中间层的暗物质。因为如同银河系里的其他恒星一样，太阳也围绕着银河系的中心旋转，所以它每3000万年左右就会穿过这个中间层一次。蓝道尔猜测，每到这个时候，聚集在中间层的暗物质就会凭借它们的引力将彗星送上碰撞地球的轨道：这就解释了为什么在6600万年前，一颗巨型陨石猛烈撞击了墨西哥湾，并触发了灾难性的气候变化，从而最终导致了恐龙的灭亡。

目前，没有人知道暗物质在银河系中具体是如何分布的，也没有人清楚暗物质是否真的能够将陨石引向地球。因此，蓝道尔的理论只是一种假说。不过，即便我们最终发现暗物质并不是导致恐龙灭亡和促成哺乳动物崛起的直接原因，暗物质仍然是人类命运的决定性因素。因为无论是对我们，还是对宇宙中其他任何一种生物而言，没有暗物质，就没有生命。因为只有凭借暗物质的引力，那些在宇宙大爆炸后游荡在宇宙之间的可见物质才能汇聚成各个星系，各个恒星才会燃烧发光。没有暗物质，就不会有我们的太阳系，更不会有我们。所以，我们的存在得益于这宇宙中数量庞大的未知物质。

暗物质算得上是21世纪人类认知过程中最大的挑战之一。为了捕捉这种在宇宙中含量最大却又扑朔迷离的粒子，物理学家不遗余力。他们把探测器发射到国际空间站上，又深入地下几千米的隧道里。他们希望在那里探测到暗粒子撞击稀有气体原子核时产生的细微反应。这种反应的信号是极微弱的，必须要有几千米厚的岩层来屏蔽干扰才能被探测到。而且，探测器表面的防护层也不可以用较新的铅层，因为较新的铅表面会有微弱的电离辐射。因此，意大利的物理学家雇用了潜水员去打捞地中海底部古希腊罗马时期的金属残骸。令考古学家感到震惊的是，由潜水员打捞上来送到地下隧道的含铅沉船残骸，极有可能属于罗马皇帝尼禄（Nero）。在意大利亚平宁山脉地下的隧道里，在美国、中国、加拿大的废弃矿井里，各地的物理学家正进行着十几项实验。但尽管做了十几年的努力，他们仍然没有发现一丝暗粒子的痕迹。

此外，人类目前不但无法探测到暗物质，而且几乎在所有理论里都没有暗物质的痕迹。因为在物理学家于20世纪下半叶确立的理论中，无论是关于世界构造还是关于世界形成的理论，都没有暗物质的容身之所。物理学家将他们对宇宙创生史的认识简短地命名为“标准宇宙学模型”——这个名字太中规中矩了。尽管它并不完全适用于暗物质以及宇宙的绝大部分组成成分，但仍被认为是科学界的一项成就，因为它描述了所有我们熟知的物质，并讲述了可见宇宙是如何从大爆炸的能量中创生的。本质上看，这个隐藏在数学公式下的标准模型其实讲述的是宇宙创生史。它讲述了最早的

粒子如何在130亿年前从纯粹的能量演化而来，然后这些粒子聚合成原子核的历程；原子核捕捉电子并形成原子，原子又汇集成星云、恒星以及各个星系的过程；以及恒星作为天然的聚变反应堆如何孕育出了化学元素，这些元素中就包括了人类躯体最主要的组成部分：氧元素和碳元素。

与神话不同的是，一部科学的宇宙创生史必须经得起可靠数据的考验。宇宙学标准模型就毫不费力地通过了所有这类数据的测试，这个模型已经被所有天文观测以及目前所有的粒子物理学实验所证实。此外，“标准宇宙学模型”还有一个同胞，叫“粒子物理学标准模型”。不过，“粒子物理学标准模型”并不讲述历史，更多的是在勾勒一种结构——勾勒整个可见世界的组成材料和结构。这个世界的组成材料仅仅包含十几种物质粒子，其中最重要的是构成原子核的夸克和围绕原子核运动的电子，此外还有一些类似电子的奇异粒子，以及赋予所有粒子质量的希格斯玻色子。一切可见的事物都是由这些基本材料构成的。

这一切通过四种基本力的作用凝聚在一起。第一种力叫作“强”相互作用力，因为它能将夸克凝聚成原子核，所以也被称作强核力。第二种力叫作“弱”相互作用力或弱核力，它能够引发特定粒子的放射性衰变，这两种力只有在粒子间距离非常近的时候才会表现出来。第三种力叫作电磁力，它使得原子核和电子联结成原子，也是它造就了光波和其他电磁波，比如微波和无线电波。第四种力是万有引力，如同电磁力一样，引力的作用距离也可以达到很远。

在这样的标准模型中，就只有已知粒子和上述四种基本力这些东西了，所以在世界的材料箱里，没有暗物质的位置。第二次世界大战在欧陆爆发前夕，美国诺贝尔物理学奖获得者伊西多·艾萨克·拉比（Isidor Isaac Rabi）曾在粒子实验室中意外发现了一个类似电子的奇异粒子，他骂道：“这到底是谁干的好事？”而面对暗物质，物理学家如今也处于一个类似的境地里，而且是一个更加困难的境地。

他们不得不承认宇宙中超过80%的物质都是暗物质，这是事实。不过神奇的是，虽然标准模型有一个如此大的漏洞，但它却仍能非常好地阐释宇宙。尽管人类对宇宙还知之甚少，但仍能很好地理解这个宇宙，这自然是一桩怪事。或者说，这种所谓的“理解”不过是我们的幻觉而已？

产生这类伟大发现的时代并未结束，反而是刚刚开始。那些和我一样相信暗物质存在的人认为，宇宙中的大多数物质还完全没有被探索过，少数不相信暗物质存在的天体物理学家则修改人们熟知的引力定律。但无论是哪种情况，横亘在我们面前的都是一座新大陆：据我们所知，暗物质和万有

引力定律，都还远远不是最主要的宇宙未知成分。事实上，充盈在宇宙中的大部分能量都尚未被探明身份，其中有一种未知能量比目前所有已知形式的能量都大得多，我们唯一可以肯定的是，这种奇异的能量确实存在，并决定着宇宙的命运。但关于它的属性，我们一无所知。

不过，这一宇宙现象是在几年前才被发现的，人类怎么可能马上就完全理解呢？1998年，两组来自美国、欧洲和澳大利亚的天体物理学家正在探测远处星系的速度。几十年前，人类已经知道这些星系正在远离我们，而且认为这种远离完全是宇宙大爆炸的结果。宇宙开端释放出的能量使整个宇宙变得越来越大——就像是在温暖的环境中发酵的面团。但宇宙大爆炸可是发生在138亿年以前的，宇宙空间的扩张理应变得越来越缓慢，毕竟面团不可能无限地发酵膨胀——一旦酵母把面里糖分的能量全部耗尽，面团就会开始重新缩小。并且，在宇宙之中还有万有引力的作用，它能将所有质量体吸引到一起，从而阻碍宇宙的膨胀。因此，天体物理学家预测，宇宙的膨胀起码应该减速了，甚至有一些科学家认为宇宙膨胀的阶段已经结束，宇宙将重新收缩并毁灭，因为根据人类当时所掌握的知识，宇宙迟早会因为可见物质和暗物质的引力作用下崩坠。

然而，天体物理学家的探测结果令人大为震惊：完全没有发现任何宇宙将停止膨胀甚至崩坠的迹象。相反，宇宙膨胀的速度甚至变快了。一定有什么未知的力量在与能聚合一切质量体的引力相抗衡。

美国宇宙学家迈克尔·特纳（Michael Turner）将这种令宇宙加速膨胀的力量命名为“暗能量”。他把暗能量称为科学界最大的谜团之一，几乎没有人能反对这一点。暗能量把宇宙变成了格林童话中的甜粥，它从魔法粥锅中源源不断地涌出，很快就充满了整个厨房，覆盖了整条街道，淹没了整座城市，但是仍然没有停下来。这种能量仿佛是取之不尽、用之不竭的。

这种现象无法用已知的自然力解释。我们熟知的物理学中的四种基本力——强相互作用力、弱相互作用力、电磁力和万有引力——的作用都是吸引（也可以排斥），暗能量的作用却是驱散所有物质。但目前，没有人知道更深层次的内容了。难道，正如一些物理学家所推测的那样，世界上还存在着第五种自然力吗？有一种简单点儿的解释是，宇宙空间是导致它自身膨胀的因素。根据这种解释，空间就像被抛到水中的折纸花，只要存在就会不断展开。爱因斯坦一度很欣赏这种观点，但随后他又把这种认识批评为“人生中做过最蠢的事情”。但以今天的眼光来看，宇宙仿佛是从虚无之中创生出来的——这种观点已经不再像爱因斯坦当时认为的那么奇怪了。就像第6章所描述的，世界上不存在绝对的真空，即便是完美的真空状态也含有能量。那么，为什么这种能量不可以使物与物之间的距离不断扩大，使空间无限膨胀呢？难道这个世界不可以是一朵能够无限展开的折纸花吗？

但是为什么这种能驱散一切的力量显得如此微弱呢？根据标准模型，研究者可以推算出真空中蕴含的能量，这个值要比实际观测到的暗能量至少强10^{100}倍。物理理论和实际情况差得如此离谱，这种情况是极少出现的。与其他四个已知的自然力比起来，这种暗能量看起来非常稀薄——就像是一滴滴入汪洋中的墨水。但人们依然能够在最遥远的星系甚至宇宙微波背景辐射中明确地感知到暗能量的作用，这绝对属于新物理学最激动人心的发现之一。当然，修行者是绝不可能凭借暗能量漂浮在毯子上面的：万有引力在这个时候的作用要比暗能量强很多倍。

这些宇宙中难以解释的物质和能量或许会使科学家陷入绝望，但对人类来说，它们的存在无疑是一种幸运。因为可见的物质不足以打造能够成为人类家园的世界。没有暗物质，整个宇宙中就不可能存在适宜生命栖居的天体；没有暗物质，天空中就不可能有闪烁的繁星，那么在宇宙无垠的永夜之中，就只会有气体游荡其间了。并且，只要暗能量与其他四种自然力的比例关系稍有不同，就不会形成星际云。假如宇宙中的暗能量比现在的更强，这个宇宙可能就会飞速四散，所有物质将会无限稀薄地分布在宇宙之中。

不过，暗能量虽然微弱，但恰好足以形成稳定的宇宙结构，而且充斥在整个宇宙之中。它无处不在，分布在所有的星际空间里，总量极为庞大。根据爱因斯坦质量就是能量的理论，如今的宇宙有将近70%是由暗能量组成的。暗能量拥有撕裂一切的能力，可以随着时间的流逝毁灭一切有形之物。但宇宙中的一切又处于如此精妙的平衡之中，星系、恒星、行星乃至我们人类都因此而创生。这种力量间的完美平衡是让人类得以生存的又一奥妙之处。

8 时间如何消逝 熵增定律

长白胡子是件令人郁闷的事情，

为何过去不能再从头？

之所以会经历时间的流逝，是因为我们并非无所不知。

宇宙也会变老。

就在刚刚过去的这个早晨，我在洗脸池边给吓了一跳。当时，我刚从一次阿尔卑斯山脉的漫长登山旅途中回来，旅途之中，我没有像往常一样刮胡子。在我正准备往刷子上挤剃须膏的时候，我的目光落在了镜子上，一时间误以为自己已经擦过剃须膏了。镜子里我的下巴和脸颊白花花的，非常耀眼，仿佛厚厚地涂了一层剃须膏。我产生幻觉了吗？还是我的记忆力衰退了？我摸了摸脸颊，是干的——这点感知力我还是有的。于是我明白了，那些黑胡须上涂着的白色泡沫似的东西，是已经长出来的白胡子。

时间就这样流走了。未来一分一秒地变成过去，这样的事实在我们看来如此理所当然。我们完全无法想象一个没有时间的世界，但我们如此确定时间的存在，也是值得讶异的。毕竟我们本身并不能觉察时间，我们能够觉察得到的仅仅是事物变得和记忆中不一样了。或许，时间只是变化的另一种说法？我手里拿着刷子搅拌着剃须膏，脑海中浮现了这些想法。如果真是这样的话，那些哲学家几千年来对于时间属性的思考就是错误的。关于什么是时间的属性，我的答案很简单：就是变白的胡子。

但这种变化从何而来？为什么昨天不同于今天？为什么我们会变老？答案并不是显而易见的，因为毕竟生活中有太多事情是能够挽回的。长出来的胡茬可以被剃掉，冲动消费的物品可以退回，迷路的人通常情况下还是能回到家里的。而时间的流逝，更像是永不停歇的变化。正是因为那些无法挽回的事情存在，我们才会体会到过去与未来的差别。干瘪的苹果没法再次变新鲜，一句欠考虑的话出了口就收不回来，那些关于人生体验的记忆也无法让我们重返17岁。

有些事情发生了，就无法再重来了，因此，当下的体验是非常独特的。我不可能再有机会看到女儿一次又一次地尝试骑上自行车，在空旷的停车场摇摇晃晃地练习着，成功以后她欢呼呐喊的样子。这些画面和声音都成了

回忆，只存在于我的脑海里，我无法再真切地重新经历一遍。过去仿佛永远地丢失了。虽然我们知道奥古斯都皇帝统治下的世界曾经存在过，但我们对那个世界的感知，并不比读一本幻想小说所感受到的更真实。为什么呢？因为我们并不是生活在那个世界里的人。我们所认为的真实世界只存在于一个瞬间，那就是“现在”。

这一点很不寻常。“这里”这个表示地点的词汇就不同于“现在”这种词汇。我用“这里”来表示我站立的位置，这是空间的概念，而不是时间的概念。当我在柏林的时候，我丝毫不会怀疑自己在其他任何什么地方。当然，即便我没有在另一座叫内罗毕的城市，那里的世界也还是存在的。毕竟，我想让我的“这里”变成内罗毕的话，只需要买一张飞机票。但我没有办法去庞贝古城的一座别墅参加盛宴，毕竟这座古老的城市已经在近两千年前被维苏威火山吞没了。因此，在我们看来，空间上的世界是非常宽广的，而时间上的世界紧紧地蜷缩在一个点上，这个点就是当下。

过去、现在、未来的分隔在我们看来似乎是颠扑不破的，以至于我们以为它们遵循着某种自然法则。但迄今为止，还从未有人发现过这样的自然法则。与之相反的是，自然中几乎所有的基本活动都是可以逆转来看的。钟摆从左往右，随后又从右往左，如果倒放这种往复运动的影片，甚至不会有人察觉。从北极观察的话，地球是逆时针旋转的，但没有一条物理定律规定行星不可以反向旋转，从金星上看太阳就是从西边升起的。我们之所以能够使用手机，是因为天线能够发射并接收电磁波。原子可以吞掉光子，也可以释放光子。以此类推，没有任何一条物理的基本方程式谈到时光的消逝。无论是解释了宇宙创生的相对论，还是洞悉了最小颗粒内部活动的量子理论都没法分辨过去和将来。昨天发生的一切，今天同样可能发生。

爱因斯坦就是这么认为的。在他青年时期的朋友米歇尔·贝索过世后，爱因斯坦给这位朋友身后的亲人写信安慰道：“他告别了这个特别的世界，还是比我先走一步。但这没什么，对于我们这些虔诚的物理学人来说，关于过去、现在和未来的分别不过是些执念和幻觉。”

时间的流逝真的只是幻觉吗？爱因斯坦当然知道，为什么他从此无法再见到他的朋友，即便这有悖于所有基本的自然法则。爱因斯坦赞赏的一位物理学家给出了答案，他就是出生于维也纳的路德维希·玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann）。他认为，我们之所以会感受到时间的流逝，是因为我们对这个世界知道得太少。

在玻尔兹曼生活的时代，这样的观点简直是不可思议、闻所未闻。他宣称

自己已经接近时光流逝这一古老谜团的答案了。不仅如此，他的论据还令其他同行大为光火。他认为，世界是由原子组成的，时间看似在流逝，但其实在它背后隐藏着人类无法干涉的原子运动。在1877年，这样的言论对于当时地位显赫的维也纳和柏林物理学家来说，完全是在亵渎优良的科学传统：他们认为，一位严肃的研究人员所探讨的必须是人类能够感知的内容。每当玻尔兹曼提到原子的时候，反对者们总是诘问道："您亲眼见过一个原子吗？"这些学者在攻击玻尔兹曼时是异常愤慨的，完全不留情面，激烈程度堪比斗牛，以致当这些科学家后来不得不放下偏激情绪时，他们仍然抱持着拒绝的态度。

不过，玻尔兹曼也有一些赫赫有名的追随者。比如弗朗茨·约瑟夫（Franz Joseph）皇帝就十分推崇他的观点，甚至想要将他封为贵族。但玻尔兹曼厌恶当时奥地利的专制，便拒绝道："我的先祖、我的父亲都对玻尔兹曼这个姓氏十分满意，我、我的孩子和我的子孙也不会例外。"蜚声宫廷对他本身并没有带来任何帮助，学界的敌意并未消退，他的身体状况也每况愈下，他时常感到疲惫不堪。1906年9月，玻尔兹曼终于不堪严重抑郁症的折磨，在的里雅斯特（Trieste）附近的酒店中自缢身亡。因此，玻尔兹曼最终未能亲眼看到自己的观点被全世界接纳的那一天。

如今，原子的存在就如同地球自转一样理所当然。但时至今日，玻尔兹曼对于时间的阐释仍然挑战着人们的接受能力，这一阐释质疑了人类感受的直接性。人类认为所有看得见的、听得见的、尝得到的，理所当然都是存在的，所以很容易理解胡子、面包等物品。反之，人类对于无法触摸的东西就会感到复杂、难以理解，比如原子。

对玻尔兹曼来说却恰恰相反：原子才算得上是简单的事物。只需要了解几个参数，人们就可以对原子了如指掌。钟摆运动、行星自转、手机天线的电磁波也都属于简单现象。相反，胡子和面包就复杂多了，胡子的生长或者面包的味道，需要通过许多原子进行复杂的共同作用才得以实现。但具体发生了什么，我们无从得知。这不单单超出了人类理解的范围，即便是宇宙中所有可能存在的智慧生命，也无法掌握关于胡子与面包内部原子的一切。这一点我们在第4章中已经借助天气预报的例子探讨过了。

但是，这种不了解对我们每时每刻的体验和感受影响不大。不必了解原子，人们也可以看得到胡子，尝得出面包的味道。每一种事物都拥有能够被感知或被测量的状态，因而人们可以毫不费力地感知外观、形状、味道、压强和温度。因为我们可以感受到这些特性，所以"现在"显得非常直观。我们不需要更深入地观察，就可以感受"现在"，因此"现在"这个时刻是特别的。但我们看到的、感受到的、品尝到的都只是世界的表象——是

我们给各种原子贴的标签，我们把这些原子称为新鲜的面包，把那些原子称为黑色的胡子、湿冷的空气等。

然而，当我们想知道这些状态是如何发生变化的时候，就不得不透过表象一探究竟了。当面包里的水分蒸发以后，面包就变硬了；当发根的色素细胞失活以后，胡子就变白了。这一切都与原子的活动有关，但我们无法准确地了解，只好抓住"概率"这根救命稻草。

对于时间的流逝，我们体会良多。保持事物特定状态的方式很少，但摧毁它的方式很多。此刻，我们能品尝面包的美味，得益于面包皮与瓤分别含有恰到好处的水分，得益于其内部原子的特定排序。但我们知道一周后这些原子都在哪里吗？没有答案。原子不停地运动——具体如何运动，我们却不知道。不管怎么说，一周以后的面包是不怎么好吃了。毕竟，面包里的水分子蒸发到空气之中的概率比乖乖留在原地的概率要高得多，水分子扩散的方式也多种多样。总之，面包变干的概率是百分之一百。这些原子就像是花园里的田鼠：即便最美丽的草皮也要被它们拱得面目全非。

玻尔兹曼天才的创造在于借助人类常识和概率阐释现在与未来的区别。我们对于现在的了解超过我们对于未来的了解。现在的面包是新鲜的，我们能够调动各种感官来确认这一点。但是当我们想象未来时，却束手无策，因为我们不知道原子将如何运动。对于这种与日俱增或不增不减且难以言说的混乱，玻尔兹曼找到了一个物理量——这个量明确地表明了有多少关于原子运动的信息是我们所不知道的，叫作熵。虽然我们无法直接感知熵的存在，但它或许比能量更为重要。因为，熵解释了为什么这个世界始终在发生着变化。

当糖在水中溶化时，熵就增加了。（溶化之前，糖分在糖块之中，溶化以后，糖分就分散到水里的各种地方去了。）当苹果萎缩时，熵也增加了。（果肉中的一部分水分通过各种尚不明确的途径跑到了房间里。）当车突然发动不起来的时候，熵也增加了。（真讨厌，这到底是为什么？）当我们变老的时候，熵也增加了。

黑色的胡子其实也处于一种特殊的状态中。一根胡须之所以是黑色或金色的，是因为须根里的色素细胞具有染色的功能。为了保持这种细胞的活性，需要海量的化学反应参与其中。所以，当我们下次看到一根黑色胡须时，就知道里头有十几亿个原子正在根据特定的组织模式工作着，否则染色就无法完成。

只要有一处出错，整个系统就会瘫痪。比如只是缺少了一种物质，或者细

胞核内遗传物质中的几个原子发生了位移，整个细胞就会死亡。但无论我们是否确切地了解其中的原因，这根毛发都会变白。只要有一处出错，就会处处出错：这就是玻尔兹曼的理论。

当毛发变白的时候，我们就失去了对系统的掌握，熵就会增大：胡子就从一个出现概率低的状态转向了出现概率高的状态。总之，胡子的色素细胞完成使命的概率要比它失灵的概率低得多。这就好比彩票的六个号码全中的概率是最低的，因为对应的数字组合只有一种。而彩票中四个号码的可能性就大多了，因为对应的数字组合更多。从生理学角度来看，黑色的胡子就相当于一张六个号码全中的彩票。

那么，花白的胡子有可能变回黑色吗？理论上是可能的。自然法则向来认为事件的逆转是可能的。但是，细胞的构造实在是太过复杂了。成千上万甚至上百万个原子突然重新组合复原，使色素细胞能够重新产生色素——这种概率有多大？这种偶然性是难以测算的。要想等待胡子变回黑色，仅仅等上人的一辈子可远远不够——即便是等上宇宙的一辈子也不够。

存在概率低的状态消失后，存在概率高的状态就会出现。一种状态存在的概率越低，它的稳定性就越低；一种状态存在的概率越高，它就越稳定，回到原来状态的可能性就越小。当这种变化只能不断向前而无法逆转的时候，我们就会感受到时间的流逝。

要是人类能够将宇宙中发生的一切过程都逆转的话，时间对我们来说就没有那么重要了。因为，这样我们就可以使一切都回归到它们曾经的状态，也就完全无法区分过去与现在了。这样一来，或许真的就会有“神”游离于时间之外。不过我们人类仍将被困在时间之中，因为我们无法掌控大多数事件，甚至无法预测那些事件能否发生。

时间之谜的背后是小概率事件——是各种原子无法被预测的舞蹈。这就解释了为什么爱因斯坦将人们区分过去、现在与未来视作一种幻想。因为爱因斯坦坚信偶然事件是完全不存在的，他是一名决定论者。他相信，世间一切事物的发生都是由自然法则提前设定好的。他认为，只是因为我们对这一过程缺乏全面的了解，所以才会觉得时间在流逝。

人类往往难以反驳决定论者的观点，因为他们站在了上帝视角。但是认同这种观点又能带来什么呢？毕竟，我们是以人类的眼光去理解世界的，而作为人类，在很大程度上就处于这种对世界的无知状态。不过，通过玻尔兹曼的帮助，我们已经能精确地定义这种无知状态了：熵越大，我们所不知道的信息就越多，重现过去的难度就越大，我们在时间面前就越显得弱

小无力。

既然我们无法掌控时间，事物就会走上由小概率状态转变为大概率状态的轨道，没有任何回还的余地。特殊的状态将会被更加普遍的状态淹没，“从前、过去”就永远不会再回来。

当我们让没有生命的事物自生自灭时，我们就会体验到与时间相伴的衰朽。面包不再新鲜，建筑变得破落，山体因为侵蚀而日渐消逝。虽然生命体拥有对抗时光消逝的能力，但这种对抗也持续不了多久。无论如何，在生存的过程中，生命体的有序状态都会渐渐消逝。所谓熵只会增大不会减小，就是对这种现象的解释。物理学家称之为“热力学第二定律”，其内涵是孤立系统的熵永远不会自动减少，小概率事件只会渐渐让位于大概率事件。到目前为止，从未有任何违背这一定律的现象出现。

宇宙中的一切都会变老，宇宙本身也不例外。在遥远的将来，太阳会熄灭，行星系统会解体，连银河系和河外星系也会消失。因为，如今群星闪耀的宇宙确实是处在各种物质各得其序的一种特殊状态中，而所有特殊的状态都是易逝的。混沌则是一种概率更大更稳定的状态。

但是，从另一个角度来看：所有围绕着我们的事物都处于特殊状态。水中的糖块、苹果、人类、恒星——这些事物是如何与概率法则和谐共生的呢？特殊的状态从来都不能长久。在漫长的时间轴上胜出的永远都是大概率事件，是混沌。于是，关于时间的秘密引出了一个更大的谜团：世界上为什么会存在结构体？为什么糖块、苹果、恒星会出现？为什么人类会存在？

存在黑色的胡子，这件事本身就已经够不可思议了。毕竟须根上的色素粒子需要其中各种原子精密的协作才能形成色素，而只要出一点小问题，整个系统就会瘫痪，所以色素粒子失效的可能性要高得多。事实上也是如此，如同人体其他器官的几乎所有细胞一样，这些色素细胞也无时无刻不在死亡。但人体能够产生新的细胞来代替这些死亡的细胞，人类具有自我再生的能力，因此我们没有在年纪轻轻的时候就头发花白。

那么，我们能够暂时摆脱熵增定律吗？毫无可能。在我们阻止自身衰老的同时，一定在别处制造了更大的无序。我们需要饮食和呼吸，吃进去的面包和苹果的状态比我们排泄出来的更有序。我们每天为了再生零点零几克的细胞，需要消耗的食物和水多达几千克。此外，人体器官每天还需要消耗足足1500升的氧气才能将食物转化为二氧化碳、水和热量。所以，在再生有序结构物质的过程中，我们将几十万倍的物质从特殊的状态转化为普

遍的状态，从极小概率的状态转变为更大概率的状态。人类在世界上的每一天，都会增加周围环境的熵。

即便是种植上一大片苹果树，也无法挽救环境的熵增。如果算上养分的制造和氧的产生，那么产生的熵还要更多。无论是养分还是氧，都得益于植物对二氧化碳和水分的转化。当然，树叶和果实的生长也有相应的代价，只是我们不能像感受体内的活动那样，察觉植物产生的无序。在植物通过光合作用将太阳光转化为自身质量和热量的过程中，熵也产生了。说到此，大家会感到惊讶：为什么热量会比光无序呢？这两种辐射类型都由光子组成，但是性质截然不同。在强度相同的条件下，光由少量高能量光子组成，而热则由许多低能量光子组成。因此，热是相比之下更无序的状态。太阳光和热辐射的关系就好比歌唱与吼叫的关系——把声音谱成美妙歌曲的方式不多，但用声音制造噪声的方式数不胜数。

光线从宇宙到达地球，而热量从地球回到宇宙。假如地球不能扩散热量，那么它早就变成一颗荒漠星球了。人类的活动使地球上的熵增加，而植物的活动使整个太阳系的熵增加。

但要是光比热量的存在概率更低，那么，为什么会有光呢？光子产生于太阳内部发生氢核聚变的过程，然后被送入宇宙空间，一去不复返——这又是一个不可逆的过程。太阳也会变老，而且，它的存在比黑色胡子的存在还要令人惊奇。因为整个宇宙都处在一个存在概率极低的状态，所以才会产生太阳。整个宇宙内部的质量是巨大的，而质量相互吸引，那为什么这些物质没有早早都坍缩到一起？为什么在太阳系的中心是一颗光芒万丈的恒星，而不是一个黑洞？

可能的答案只有一个：远在太阳形成之前，物质就已经处于一种近乎神奇的低概率状态了。在宇宙刚刚形成不久的时候，产生的物质就已非常有序地均匀地分布其间，从而对抗引力的作用。这一点我们可以从宇宙微波背景辐射中推测出来，这些辐射是在大爆炸30万年以后原子形成的过程中发散出来的。鉴于宇宙就像气球一样不断膨胀，所有物质之间的距离都越来越远，这些物质就没有凝聚成黑洞，而形成黑洞是比均匀分布更加无序的状态。正因如此，星际云、各大星系、所有恒星包括我们的太阳、植物和黑色的胡子才得以出现。

这是一个关于低概率事件的无底洞，一个不可思议的深渊。宇宙中有人类，这是个不可思议的事实，只能通过更古老且更加惊人的事物才能解释。在过往的时间长河中溯流而上，越往回走，宇宙的状态就越不可思议。

我起初只是为了了解黑胡子为什么会变白，渐渐地就探索到了宇宙的开

端。这个开端与我们惯常的想象截然不同：如今的宇宙并不是由大概率状态而来的，或者说不是由混沌而来的，而恰恰是从极低概率的状态中演化而来的。混沌恐怕会终于黑洞，而宇宙的开端却充满了井井有条的秩序。

乍看之下，这种宇宙学观点是难以接受的，因为它不仅与大多数文明的创世神话背道而驰，也不符合我们的世界观。人们很容易如此反驳：宇宙中的一切事物——各大星系、各个恒星和行星以及生命本身，它们看起来都是有序的，而这一切都是几十亿年的历史发展而来的结果。但这种反驳恰恰是错误的。我们今天所见的秩序仅仅是世界开端时更大秩序的一抹余晖。如果没有这最初始的秩序，我们如今在宇宙中发现的各种秩序和结构是断不会出现的。所有这些有序，恰恰是以其他地方的无序为代价的。熵的总量随着时间流逝而增加，整个宇宙也从最初概率极低的状态发展为概率更高的状态，也就是更加无序的状态。

牛津大学的数学家罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）曾经通过计算得出，如今这样的宇宙形成概率到底有多低。他运算得出的概率为$10^{10^{123}}$分之一。这个数字如果用常规形式写到纸上，这张纸的长度都得有好几个光年，而且，整张纸几乎都会被小数点后的零填满。只有坐上宇宙飞船冲向这张纸最后一行的末端，才能发现一个不是零的数字。可见，这个宇宙诞生的概率低到了极点，而宇宙开端的秩序高出了天际。

不过，这种秩序从何而来？目前还没有人敢妄作揣测，即便是最天才的理论家也对此保持缄默。这种赋予了我们一切的秩序究竟源于何方，我们仍一无所知。不过，胡子的变化让我得以看到这迷雾森林的第一叶绿意。因此，胡子已然变白的我不由地感到些许宽慰。

9 视界之外 无限的宇宙

夜之所以是黑暗的，

是因为宇宙有一个开端。

自那以后宇宙不断膨胀。

宇宙很大，

大得超过我们所能想象的极限。

这种惊异引人遐思。

为什么夜是黑暗的？当我的女儿睡前提出这个问题时，我不假思索地回答道："因为在夜里，太阳照射不到我们这边。"但我女儿并不满足于这个答案，她又说，但是天上的星星也会发光呀。

"星星离我们很远，"我答道，"所以它们的光很微弱。"

"但星星很多呀。"女儿说。

"但是，宇宙也很大呀。"

"但是里面充满了星星，对吗？"

"没错。"

"那么，天空在晚上也肯定是明亮的。"

"现在该睡觉了。"我说。我不禁暗自发笑，一个七岁的小孩儿对宇宙的浩瀚显然还毫无概念。

但事实上，我得笑我自己才对。我女儿提出的这类问题，几个世纪以来都令天文学家苦苦思索，辗转反侧。夜里的天空为什么会变暗，这对当时布拉格的天文学家约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler）而言，也是一个谜。开普勒认为，一个无限且自古以来就均匀点缀着繁星的宇宙，是不应该存在黑暗的。因为，无论人们看向天空的哪一个方向，都永远会有一颗星星在闪烁。这和为什么人无法看穿整座森林是一样的道理，虽然树与树之间有空隙，但森林越大，就会有越多的树木挡住我们的视线。同理，我

们的目光越深入宇宙，就会有越多的星星出现。假如宇宙的空间无限，那么整个天空都会充满了星星，这样的天空会如同太阳一般光芒四射。

但黑色的夜空告诉我们，我们所见的这个宇宙是有尽头的。要么它的空间有尽头，要么它的寿命有尽头，抑或两者皆有尽头。无论是哪一种设想，对我们来说都很费解。因为，要是宇宙真的有尽头，请问，尽头之外是什么呢？如果宇宙真的有一个开端，那么在开端之前又发生了什么呢？一个有限的宇宙在我们看来是充满矛盾的。当然，无限的宇宙同样会令人头疼，因为宇宙的无限同样超出了我们的理解能力。但无论如何，我们都在尽力发掘这个真实的世界。

每当我们认识到自己的无能为力时，便会陷入惊异之中。我们感到自己败倒在了真实世界面前，这个世界和我们想象的完全不同——甚至超过了我们能够想象的极限。虽然我们无法理解这种真实世界，但是我们以一种难以名状的方式与它联结在一起。我们所感到的这种惊异，已经不仅仅是一种情绪波动，它超出了我们理性思考的极限。当遇到意料之外的情况时，我们会惊异。当我们找到了一个问题的答案，却同时牵扯出十个新问题时，我们会惊异。惊异，是我们从无知状态转向更深理解的过渡阶段：此时，新世界的大门在向我们打开。也正因如此，我们常常会在小孩子的脸上看到惊异的表情。

对爱因斯坦而言，这些惊异的瞬间是最具价值的。这位伟大的物理学家曾于1932年说道：“人类能够体验的最美好的事物是神秘。这种感受孕育着真正的艺术和科学。那些不了解这一点的人，那些不会再感到惊奇、讶异的人就像行尸走肉，他们眼眸中的光芒已经熄灭。”他把这几句话录下来，并称之为“我的信条”。

我们遇到不可思议之物的机会越来越少。在当代人的眼中，这个世界已经失去了神秘色彩。当他们找不到问题的答案时就会麻木地相信，一定有专家知道答案。这很好理解。每天，我们都会听到关于科研新突破的报道，科技的神奇威力令我们越来越坚定地相信，人类已经对自然运行的方式了如指掌。航天、医疗、口袋中越来越快速的智能手机——似乎只要我们想去做，没有什么是不可能的。（只有当感冒的时候，我才会意识到我们对自然的掌控其实还是有限的。）

尽管如此，我们还是习惯于避开那些小孩子才会提的问题，这些问题表面看起来都很简单，但却激发了爱因斯坦深刻的认识，比如，夜空为什么是黑暗的？世界是怎么形成的？什么是时间？我们给孩子们的答案常常只有寥寥几句：因为太阳照到地球的另一边去了，世界是由宇宙大爆炸而形成的，你们在钟表上看到的就是时间。这种隔靴搔痒的回答剥夺了我们体验爱因斯坦所说的灵光乍现之快感的机会：那是一种对于我们所生存的世界

的惊异，也是发现其中奥妙时的喜悦。

惊异带领我们寻找事物背后隐藏的奥妙，从而获得更大的惊异之感。比如，当我们裸眼仰望夜空时，会发现宇宙大爆炸的某种痕迹。而在思索这些的过程中，我们会遭遇一些疑问，比如，宇宙有尽头吗？宇宙必须是无穷无尽的吗？“无限空间的永恒沉默使我恐惧。”法国思想家、数学家布莱士·帕斯卡（Blaise Pascal）在17世纪如是写道，他这么写，无疑是因为有过类似的体验。当时帕斯卡对宇宙大爆炸之说还闻所未闻，但他的这种想法会不会是对的呢？这个宇宙真的是无限的吗？

如今，我们已经知道，夜空之所以是黑暗的，是因为宇宙并非从一开始就存在的。我们可以看到许多星星，但它们是有限的，并不能密不透风地把夜空照亮。要想看到明亮的夜空，除非有无穷无尽的星光传到地球。我们虽然不知道宇宙中的星星是否真的无穷无尽，但由于宇宙并不是从一开始就永恒存在着的，所以即便真的有无限的星星，我们也不可能尽数看到：因为最遥远的那些天体光芒还没有足够的时间抵达地球。最新的数据表明，宇宙有138亿年的历史，因此只有那些在138亿年之内能把光传达到地球的星星，才能在我们头顶的夜空里闪烁。而这类星星的数量是有限的，所以我们头顶的苍穹在夜里永远是黑色的。当然，帕斯卡当时还不了解这光速、黑夜与世界起源之间的来龙去脉。

借助高性能的望远镜，人们发现了另一个有关宇宙起源的线索：遥远的星光是红色的。这种颜色表明，它正在离我们而去，原因就在于宇宙的膨胀。美国天文学家埃德温·哈勃（Edwin Hubble）早在1929年就发现了这一现象。这也解释了光是一种波的原因，当光传播的空间不断扩大时，里面的一切都会被拉长——包括光的波长。由于每一种波长都对应着一种颜色，所以我们看到的颜色也会变化，我们看到的短波是蓝色的，长波是红色的。

我们观察的星星越遥远，星光的颜色就越接近红色。这意味着，这些星星与我们之间的空间在不断扩大。无论我们观察哪一个方向的星空，都会发现这种现象。也就是说，所有的星星都在离我们而去，因而，整个宇宙一定在膨胀。在我们肉眼可见的边缘，那些星星正以每小时70亿千米的高速绝尘而去。

要是能像电影倒带一样回放宇宙发展的历史进程，人们可以看到一个完全相反的过程：所有的天体都靠得越来越近，直到回到一个非常遥远的过去，我们如今所见的一切都浓缩到了一个点上，这就是大爆炸开始的时刻。所有星星的逃逸运动也证明了，宇宙确实有一个开端。

许多人会以为宇宙在大爆炸的时候是一个火球。他们眼中的宇宙创生史大概是这样的：有个东西发生了难以想象的剧烈爆炸，因受到这次爆炸的推动，宇宙从此就不断膨胀。所以我们就处在一个不断膨胀、体积越来越大的皮球内部。

但是，真的是这样的吗？如果宇宙真的是一个不断膨胀的球，那么宇宙就一定有边界——也就是这个皮球的表层。但这是不可能的。要是这样的话，就一定有一个皮球外的世界，宇宙将不再等于一切。

一个有着外部边界的宇宙是难以想象的，但我们就是生活在一个无边无际的宇宙中吗？也不一定。还有一种猜测可以跳脱出这种假设：宇宙或许是弯曲的。

这种假设认为，宇宙空间像橡胶一样富有弹性，可以任意弯曲：这个灵光一现的想法使爱因斯坦发展出了广义相对论。质量大的物体能扭曲其周围的环境——就像石头能在紧绷的橡胶薄膜上压出一个凹坑一样。就如第7章所述，通过这种方式，大质量的物体能使光线弯曲，使天空中出现星光的重影。但这种空间的弯曲不仅仅发生在一颗恒星或者一个星系的附近，而是存在于整个宇宙中。这就好比只要用力拉扯，就能使一整块橡胶变形一样。

这种弯曲空间到底长什么样呢？我们可以设想一只在皮球表层爬行的蚂蚁。它的世界就是这个球的表层，这个表层对它而言是平的。也就是说，对这只蚂蚁而言，它并不是在三维空间里运动，而是在二维空间中运动。事实上，它所爬行的这个表面是弯曲的。尽管这只蚂蚁认为自己是在走直线，但其实它的行进方向在不断地发生变化，只是它无法察觉。所以这只蚂蚁可以一直在皮球上散步，但永远不会到达边界。这个表层没有边界，但是是有限的。假如这只蚂蚁一直不停地前进，最终一定会再次回到原点——好比《雅诺什童话集》中的小熊和老虎出发寻找巴拿马，最终却回到了原来的家，他们自己却丝毫没有察觉。要是换一只非常聪明的小动物，可能就会意识到这一点，即便如此，它肯定也无法弄明白这片土地的具体形状特性，因为它的理解力只能够满足在二维世界中生活的要求。

这样看来，人类极有可能生活在一个弯曲的三维宇宙空间中而不自知。这种弯曲在日常生活中并不容易察觉，就如同蚂蚁无法一览其地盘的全貌一样，宇宙的弯曲也超出了我们想象力的极限。

但人类最大的荣光在于，我们不会因此停止探索世界的脚步。必须承认，人类对真实世界的了解微乎其微。爱因斯坦曾经写道：“自然只给我们看

到了狮子的尾巴。但毫无疑问的是，由于体量庞大，狮子本身也无法瞬间将自己完全展现出来。而我们现在就像狮子身上小小的虱子一样看着这只巨兽。”

与虱子不同的是，我们知道自己眼界的局限性。人类拥有一种特别的语言，能够透过现象描述这些奥妙的关联，那就是数学。运用数学语言，我们可以毫无障碍地描述三维空间的弯曲。同时，我们可以通过观测结果来验证这些数学公式的预言是否准确。

到了21世纪伊始，人类才成功地测量出了宇宙的曲率。这项测量称得上是极大的挑战，因为物体越大，就越难一览其整体结构。比如我们普通人就很难察觉到地球的球面。因为半径超过6000千米的地球曲度已经小到几乎没有，而远处并不平整的地平线也显现不出球面该有的形状。人类必须从极远的地方观察，才能确认地球表面是弯曲的。只有当我们看到远处帆船的桅杆从海平面上渐渐升起，或者乘坐超音速飞机飞速掠过平流层时，才能看到地球并不是一个平面。

考虑到宇宙空间的尺寸，我们要想辨认它的曲度，则需要从更加遥远的地方眺望。如果没有科技的支持，我们恐怕永远都无法发现宇宙的结构。2001年，美国发射了WMAP（威尔金森微波各向异性探测器）；8年后，欧洲向宇宙发射了一颗升级版探测器，即普朗克卫星。这两颗探测器的使命都是探测宇宙微波背景辐射，这种辐射可以理解为宇宙大爆炸初期的光芒，而如今，它们经历了138亿年的穿行终于能够被我们接收到了，没有比这背景辐射更古老的光了，因此它也画下了人类可见宇宙的最遥远边界。这两颗探测器已经在人类能力允许的范围内，探测到了距离太阳系最为遥远的地方。

探测器的构造及其探测宇宙曲率的原理，与观察航船从海平面升起的原理相似。可惜，当初美国发射的探测器的首次探测任务并未取得成功：它收集的数据不足以发现丝毫宇宙弯曲的迹象。难道是探测器精度太低吗？于是所有的希望都寄托在了普朗克卫星上。人们希望欧洲的这颗探测器在具备了更高的解析能力之后，可以得出不同的探测结果。但是普朗克卫星上报的结果也是“曲率为零”。因此，如果根据这些探测数据来判断，整个宇宙就如同火柴盒一般平平整整。

一个平坦的宇宙必定是无限大的，否则一定会有边界，在那里会有东西掉落。难道人类的家园真的在一个无边无际的火柴盒上？这或许是对那两颗探测器的探测结果最简单的解释，但我们还是无法肯定这一点。因为根据现代宇宙学的惊人发现，我们虽然可以准确地追溯宇宙开端几百万年以后的历史，却没有能力得出宇宙的大小。因此，我们基本上还无法真正测量宇宙的尺寸。普朗克卫星在2013年发布的数据只能告诉我们这个宇宙至少

有多大。

由于我们只能接收到宇宙大爆炸以后那些有足够时间到达地球的光线，所以我们无法看到宇宙中那些离我们更远的部分。

或许，关于平坦宇宙的发现是由于测量误差导致的。或许，宇宙真的是弯曲的，只是弯曲程度太弱，以至于普朗克卫星也无法确定如此细微的弯曲。如果真是这样的话，我们就可以推测，宇宙确实是有限的，但是由于其空间的弯曲，所以走不到尽头。鉴于普朗克卫星的精度非常之高，能躲过其探测的曲度一定极其微小。而且，宇宙也和地球一样：表面的弧度越小，其直径就越大。因此，鉴于人类最先进的技术仍无法测出宇宙曲率，足以说明这个宇宙尺寸的巨大，几乎可以称为无穷大。

此外，还存在另一种假说，这一假说借助复杂的拓扑结构说明了宇宙是一个有限但走不到尽头的世界。该假说认为，宇宙这个火柴盒的所有出口都与其入口相连，因此没有人能够离开这个火柴盒。借助高等数学，人们确实能够构建出一个既平坦又有限的模型。其中一种最简单的模型叫作超环面，形状就像是把三维的自行车轮胎内胆套在一辆四维的自行车上，爱因斯坦的想象力在面对这样的形状时，恐怕也会力有不逮。另外，还有其他的宇宙空间模型要更加错综复杂、七拐八弯。假如我们生活的宇宙空间真的如此，那么我们幻想过的简单而优雅的真实世界就破灭了，而且根据普朗克卫星的测量结果显示，这些殊异的宇宙世界也一定极其巨大。

据保守估计，在人类可见宇宙的背后还隐藏着一个至少比它大250倍的宇宙。不过，多数宇宙学家所估计的大小不同于此，美国的WMAP采集的数据显示，宇宙的大小比可见的要大600亿倍，这个估计显然不像前者那么保守。宇宙微波背景辐射研究的先驱、牛津大学的天体物理学家约瑟夫·西尔克（Joseph Silk）甚至认为，宇宙比我们可见的部分大10^{100}倍，这个数量级相当于一个Googol。

假如这样的宇宙是一片海洋，那么我们所见的仅仅是一滴海水，我们对于这无尽宇宙的了解就是如此局限。洒满繁星的夜空看起来仿佛已经浩瀚无边，可是这与那个人类无法到达的宇宙比起来又小得可怜，无论现在还是将来，人类可能都无法接收到更多来自这个更大宇宙的任何信号。如此说来，帕斯卡口中浩瀚宇宙的“永恒沉默”也不无道理。

人类可见的宇宙半径达到了460亿光年。这是光线自大爆炸以来传播了138亿年的距离，这个距离之所以远大于138亿光年，是因为在光线传播的过程中整个宇宙也在膨胀。这个视界之外的光线还在赶往地球的路上，

但我们已经无缘看到它们，我们也无法到达那个视界之外的任何地方。而且，由于宇宙不断膨胀，那些区域对我们的子孙后代而言，也将永远不可见。

现在，我们不妨假设一下，宇宙中的所有地方都适用相同的自然法则。这有何不可呢？毕竟没有任何天体物理学家的观测结果指出，随着与地球距离的变远，会有什么物体发生根本性的变化。人类所在的行星在整个宇宙中并没有什么特别之处。所以我们完全有理由相信：在人类可见宇宙之外的那个宇宙，与我们这里不会有什么本质差别。那里也会有大小星系、各种恒星、许多行星。

宇宙空间越大，就有越多天体穿梭其中，也就会有越多类地行星。至于具体的原因，只要想一想掷骰子的游戏就可以明白：掷骰子的次数越多，出现固定点数的概率就越大。虽然会出现掷了十次骰子也没有出现一次六点的情况，但这毕竟是少数。因为掷十次骰子至少出现一次六点的概率是84%，掷20次骰子相应的概率还要高：足足98%。如果继续掷，那么至少出现一次六点的概率就会更加接近100%：掷了50次以后，这个概率就高达99.99%，100次以后的概率甚至高达99.999999%。也就是说，掷了100次骰子以后，出现六点几乎是必然事件。

在宇宙中也是如此：宇宙空间越大，某处发生特定事件的概率就越高。比如，在一颗遥远恒星的边上有一颗类地行星，这种可能性有多高呢？在我们太阳系附近出现这种类地行星的可能性虽然有，但在现实中并不存在。不过，在银河系中出现类地行星的概率就要大很多。美国国家航空航天局（NASA）就曾在2017年2月宣布，在距离地球近40光年的水瓶座里发现了一个具有7颗类地行星的星系。虽然星系中心是一颗比太阳弱很多的红矮星，但是在这个星系的一些行星上仍然可能有生命存在。如果把搜寻的范围扩大到更广阔的宇宙，那么找到第二个地球的概率会高更多。而且，随着搜寻范围的扩大，这个概率会呈指数型增长——就像经过漫长的掷骰子游戏后，必然会出现六点一样。

这个游戏还可以再延伸一下。假如我们的目标不仅仅是出现一个六点，而是连续出现两个六点，那么，我们就需要有更多的耐心。不过，这个目标还是可以达到的。掷了170次骰子后，连续出现两个六点的概率是98%，投了500次以后，概率就可以达到99.9999%，投了700次以后，连续出现两个六点的概率就可以达到99.999999%。同理，除了要求这个类地行星与地球有相似的生存环境，我们还可以对它提出更多要求。比如，要求在这个类地行星上至少有三分之二的面积被海水覆盖，或者要求那里恰好也有14座8千米以上的高峰。即便在可见的宇宙中不存在这样的类地行星，但由于整个宇宙比这大得多，因此存在一个符合条件的行星的可能性也大得多。

意大利多明我会修士、自然哲学家焦尔达诺·布鲁诺（Giordano Bruno）早在16世纪就已认识到，在无穷大的宇宙中一定存在着无穷多的智慧生命。由于这类关乎宇宙的思考，他甚至付出了生命。宗教裁判所将他判为异端，并公开处以火刑。据说，在1600年2月17日，当布鲁诺被送往罗马鲜花广场处刑时，刽子手把他的舌头绑在了一个木夹钳上。这么做是为了防止这位先知在火堆上向着广场上看热闹的人讲话。毫无疑问，梵蒂冈认为这位已然是自然哲学家的修道士是一个异常危险的人。教会为了追捕布鲁诺花了将近20年的时间，才最终在威尼斯抓住他。布鲁诺也十分清楚其本人学说的力量，据记载，在宗教裁判所宣布判决后，他回应道："恐怕诸位宣布这一判决时感受到的恐惧，比我接受该判决的恐惧要大得多。"一直到1965年，布鲁诺的著作都还被列在教会的禁书目录里。

梵蒂冈方面对布鲁诺的恐惧并非空穴来风，因为这位神学家曾表示：只有无限的、不可捉摸的宇宙才可能孕育无限的、同样不可捉摸的神，否则就绝无可能。因此，也会存在无穷多如同太阳一样的恒星、无穷多的行星、无穷多的生命体。但这和教会的学说是相抵触的，教会一向认为，人类的救赎史是独一无二的。

诚然，当时教会排除异己的做法着实令人作呕，宗教裁判所使用的手段也非常卑鄙，但教会的担忧是可以理解的。布鲁诺的观点恐怕会引起令人不安的轩然大波。毕竟，"宇宙可能是无限的"这种假说直至今日仍然令人费解。一个无穷大且千篇一律的宇宙不仅抹杀了人类及其历史的独特性，甚至还抹杀了"独特性"本身。

在无限的宇宙中，必然存在无数的世界，以及无数的生命。在那里，或许也会有许许多多如同地球一样的行星，这些行星上也必然有一个阴雨绵绵的北纬国家，这个国家的啤酒和汽车也同样闻名遐迩。在无限的宇宙中，这种行星的数量甚至也可能是无穷无尽的。这些星球上不仅有足球甲级联赛、比萨、可口可乐，而且还有曼努埃尔·诺伊尔（Manuel Neuer）[注]，甚至还存在着每一个在地球上生活着的人的翻版。在这样的宇宙中，我们中的每一个人都有近乎100%的概率拥有无穷个分身。

在这无穷无尽的宇宙中，一切符合自然法则的活动都在上演着。比如在其中一个星球上，所有由夏洛克·福尔摩斯解开的谋杀案都又发生了一次，而在另一个星球上，则生活着一群霍比特人。这些星球上或许生活着智慧的硅基生命，甚至还可能存在由所有的星系共同产生的宇宙意识。

我们无法确定自己生活的世界是否果真如此。但是，目前人们已经发现了一些证据。毫无疑问的是，我们生活在一个异常巨大的宇宙中。我们看到

的只是这个宇宙的一小部分，在它背后，还有人类无法到达的巨大空间。认为这个宇宙无穷无尽，这种想法并不只是天马行空的猜测。相反，当我们眺望黑暗夜空而产生疑惑时，一个向着各个方向无限延伸的宇宙甚至可能是解答这个疑惑的最简单的答案。为什么呢？本书的下一章将会讲到。

每个人在宇宙中都有无穷个自己，这种设想确实令人咋舌。在十亿光年之外的行星上，一个男人抿着绿茶，即将写完一本关于宇宙的书的最后两章——难道那就是我吗？不过，这种惊骇很快就会过去。科学一次又一次地用人类起初感到抗拒的那些观点来考验人类，但随着时间的洗礼，其中一部分认识被接受了。很有可能，我们的后人将完全无法想象现在的人类对自己有分身这件事毫不知情的生活，他们或许会问，曾经的人类何以承受那份作为宇宙间唯“我”独存的孤独呢？

---

1. 曼努埃尔·诺伊尔，德国足球明星。

10 我们为何存在 生命的诞生和暴胀理论

我们每一个人体内都蕴含着

宇宙最惊人的特性之一：

智慧生命的出现并非偶然事件，

而是大概率事件，

因此谁能断言，我们无足轻重？

一连串不寻常的事件促成了我的降生，而这一系列事件在我的父母相遇之前很久就已经在涌动了。更为惊奇的是，在这个世界上竟会存在一位女性，一位生育了我的女性。所有这一切，都得益于一颗巨大的陨石。在它撞击地球后，扬起的尘埃挡住阳光足足数月之久，三分之二的物种因此永远消失了。假如6500万年前的那颗陨石以稍稍不同的角度进入太阳的引力场，恐怕就不会击中地球，这样一来，或许地球至今仍是一个恐龙星球？但正是因为这颗彗星击中了墨西哥湾，一些当时并不起眼的胎生夜行动物才获得了生存的空间，而它们就是人类的始祖。

此外，月球也为我的降生贡献了一份力。它凭借其引力作用稳定了地球的旋转轴，否则地球就会变得摇摇晃晃的。没有月球，地球上就不会有周而复始的四季，气候就会变得混乱不堪，甚至在一个没有月球环绕的地球上都不会出现动植物。要是没有月球，那些我们熟知的生命是否还有机会出现在地球上呢？很可能不会。部分信息表明，原始单细胞生物是在海洋潮汐的滩地中形成和发展起来的，在那里，它们轮番经历着阳光曝晒和潮水浸润。假如没有月球，就不存在潮汐，而没有了潮水的涨退，人类的诞生也就无从谈起了。

月球又是从哪里来的呢？我们这颗小行星能拥有这样的卫星，实在算得上是一件了不起的事情了。凭借地球自身的引力，恐怕还无法捕捉到月球，所以，更有可能的是某次猛烈的碰撞为地球带来了这颗卫星。一种理论认为45亿年前，地球刚刚形成不久，它就与一颗名为忒伊亚（Theia）的原行星发生了碰撞。据推测，原行星忒伊亚大概有火星大小，它与地球相撞后产生的碎石形成了月球。在太阳系范围内发生这种碰撞的概率确实是极低的，而双方相撞后刚好产生了一个月球大小的石块，这听起来更是难以

置信。但是，这恰恰就发生了。

那些促成我降生的奇特事件，足够讲上好几章。比如，太阳系内几颗邻近行星的排列、地球强大磁场的形成、大陆板块的漂移等。此外，还得谈谈生命是如何从没有生命的物质中形成的——大分子得先形成细胞，分子的排列又得恰好赋予这些细胞繁殖能力。英国天体物理学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）曾调侃道，这类事件发生的概率之低，就好像一场龙卷风扫过垃圾场，恰好把一堆破铜烂铁组装成了一架波音747。

所有上述事件单独拎出来都非常惊人。但我的降生并不是得益于其中某一个事件的单独作用，而是得益于一连串特殊事件的共同作用，从地球与原行星碰撞后月球的诞生到恐龙适时的灭绝等，这一切只要稍有差池，人类就不可能出现在地球上。从地球由星尘变幻为如今的行星，到地球上我们人类自身的出现，当我们审视地球所经历的一切时，实在难以想象这一切竟然就这样发生了。于是，我们不禁会想，这一切的背后是否有一只排兵布阵、运筹帷幄的手。

唯独在我们的星球上出现了生命，这恐怕是难以想象的，单单是这种想法都会令我们战栗。因为，若事实真是如此的话，那我们的存在就是一种偶然，是罕有之事：在宇宙间一颗不起眼的蓝色星球上，聚居着一群熙熙攘攘的人，他们有趣而又有些荒唐，而且可能很快就会被淡忘。所以，在40亿年前唤醒银河边缘沉睡的物质，并赋予它们生命，难道仅仅是宇宙的一时兴起吗？

直到不久以前，世界顶尖的自然科学家对生命的创生还保持着这种观点。法国分子生物学家和诺贝尔医学奖得主雅克·莫诺（Jacques Monod）所提出的观点，可以说是其中最具有代表性和说服力的。他指出，地球上生命的诞生是一种难以置信的偶然。所以他近乎悲观地描述道："人类孤独地存在于无尽的宇宙中，并毫无防备地成为其中最特别的那部分。"因为，宇宙从未专门为生命的出现做过什么筹划工作。

莫诺的作品《偶然性与必然性》（*Le hasard et la nécessité*）出版于1970年，并一跃进入了畅销书的行列。全书字里行间流露出对于哪怕是最简单生命体之复杂性的惶惑。作为首批能够将视线投入细胞内部一探究竟的研究人员，莫诺惊异于其内部世界的神秘。如此看来，他会认为生命是独一无二的偶然也就不足为奇了。

不过，虽然莫诺对于生命体的复杂性了如指掌，但他远远低估了宇宙的复杂性。当时的天文学家也同样对宇宙的真实大小一无所知。大多数人猜

测，我们人类生活在一个直径几百万光年的有限空间里。他们只认识一个太阳系，就是我们的这个太阳系。在现代科学出现之前，布鲁诺那种宣称无限宇宙中有着无穷多行星的学说，完全被视作一个异教徒漫无边际的臆想。简而言之，比起实际的大小，当时的人们认为的宇宙要小得多。

假如宇宙真的很小，生命的存在确实会显得不可思议。如果全宇宙只存在一个能够孕育生命的行星，那么在这个宇宙中出现生命的概率可以说相当于零了。因此，莫诺才会认为人类的存在是一场偶然。

如今，我们已经知道，人类被一个浩瀚的宇宙包围着。自2009年开普勒太空望远镜投入工作以来，每天都会在银河系中发现十几个新的行星系统，而且其中有不少包含类地行星。根据保守估算，单单在银河系中，就至少有1000亿颗围绕恒星运动的行星，而可见宇宙至少容纳了1000亿个星系，由此可知，行星的数量是非常巨大的，数量级达10^{22}，即1000亿个1000亿。这还仅仅是极渺小的可见宇宙中的天体数目，在我们不可见的那部分宇宙中，一定还存在着多得多的行星。

这串巨大的数字足以改变一切。因为即便在一颗行星上产生生命的概率是微小的，但随着行星数目的增多，总归会在某颗行星上出现生命。只要积累了足够高的频率，即便是最不可能发生的事件也几乎必然成为现实。这就是“大数定律”（Law of large number）。

莫诺所考虑的，仅仅是智慧生命出现在地球这一个星球上的概率，因此他得出的结论是，这类生物在宇宙中出现的概率几乎为零。但比单次事件发生的概率更为重要的是样本的数量，比如，我一个人获得了彩票的头奖，这确实是一件惊人的事情；而当几百万个人同时参加大乐透，却没有一个人压中所有六组数字，这就非常罕见了；而当彩票的总数达到了几十亿张，中奖的人却不到千人，这恐怕就算是奇闻异事了。莫诺所没有注意到的，正是这种样本数量增加后弥补了概率偏低之不足的现象。所以，单单在可见宇宙中就有百垓颗行星，倘若在任一行星上都没有出现智慧生命才是真的见鬼了呢。

美国天体物理学家亚当·弗兰克（Adam Frank）和伍德拉夫·沙利文（Woodruff Sullivan）就曾计算出，上文所述的“见鬼”到底是个什么概念。宇宙中每五颗与太阳近似的恒星之中就有一颗拥有一个或多个位于所谓宜居带、拥有流动水的行星。当然，地球就是其中之一。弗兰克和沙利文的公式把在这类行星上出现智慧生命的概率与在整个宇宙中出现智慧生

命的概率结合在了一起，得出的结论是：这类行星上出现智慧生命的概率大于10^{-24}，因此，可以推测，可见宇宙中应该存在生命体。

这样的门槛其实不高，想想看地球上生命出现的进程是多么迅速就知道了。在地球由尘埃云形成的5亿年后，待到火山作用和彗星撞击尘埃落定，地球给了生命体机会——这时，生命就真的出现了。而且，人类最早发掘的单细胞生物化石就是属于这个时期的。生命如此迅速的创生足以说明，在合适的条件下生命形成的概率不会太低——至少远远大于10^{-24}。

我们不知道微生物变成智慧生物的概率有多大，这个概率可能不高，但也不是低到没有。这一点，从行为学及神经生物学的最新研究成果中就可以看出。在较为原始的头足纲动物身上，已经可以发现智慧的雏形：大王乌贼能通过改变肤色来沟通，并以此在狩猎的过程中协调各方；八爪章鱼能够学会利用触手打开螺旋盖。蜜蜂的脑袋虽小，但也拥有记忆，且能够通过使用摆尾舞这种符号语言，告诉同类哪里有花蜜可以采集。乌鸦作为恐龙的后裔，会使用工具，能够在镜子中认出自己，并能够学会计数。如此看来，即使人类乃至哺乳动物都不曾出现过，地球上也可能存在其他拥有智慧的生灵。也就是说，如今统治地球的可能会是鸟类的高智商后代，而掌控海洋的可能是高度进化的头足纲动物。

因此，在我们的行星上智慧生命繁衍的概率可能要比弗兰克和沙利文计算出的10^{-24}高很多。所以，我们几乎可以肯定，宇宙中势必会出现智慧生命。而且据人类的观察，宇宙中的很多地方都是极为近似的，没有理由只在地球上出现智慧生命。从而也可以确定，在宇宙中的其他地方也一定存在着智慧生命——存在着那些能够认识自己、认识周围的环境、懂得规划、会一步步实现目标的生命。我们人类并不孤独。

这是个非常振奋人心的发现。我们得到这一发现的方式同样值得思考：单单从人类自身历史和宇宙的特性出发，就可以得知我们人类的出现并不是宇宙运行的偶然。我们的存在恰恰揭示了宇宙最为惊奇的特性之一：智慧生命的出现不仅仅是可能的事件，而且是大概率事件。还有谁能说我们的存在无足轻重？

我们人类恰巧出现在位于南门二（半人马座α星）附近、银河系边缘的地球之上，这样的概率毫无疑问是极低的，但在数不尽的行星之中出现一颗拥有智慧生命的行星又是必然的。所以人类的出现，并不是宇宙的无心插柳。

那么，又是什么让宇宙孕育出像我们这样的生灵呢？有神论者认为，这种世界的秩序得益于造物主的恩赐。人们很难反驳他们的观点，证明上帝存在或者不存在都是不可能完成的任务。有一位自然科学家，虽然也信仰上

帝，但他对这类人的解答并不满意。他认为，研究就是为了理解世界背后的自然真相，作为科学家，如果选择投入神的怀抱，那简直是弃甲投戈的行为。

向来不乏讽刺之辞的爱因斯坦曾提出过这样一个问题：上帝在创造世界时有没有选择？他花了成年生涯的大部分时间——也就是他逝世前的那三十年——来钻研这个问题。1945年前后，他告诉自己的助理："其实，我好奇的是，当初上帝是否有可能创造一个完全不同的世界。"据爱因斯坦推测，这个问题的答案应当是"没有"。因为他相信，自然界中任何事物的出现都不是随机事件，他眼中的世界是符合逻辑、可以理解、简单而美丽的，每一个自然法则都是合理的存在，且彼此间能够相互协调。而上帝，亦应不负上帝之名，不去任意干涉和扰乱这种秩序。

那么，这个秩序的结构是什么样的？我们能否探得其更深层次的奥秘？爱因斯坦为了寻找一个能够解答这类问题的终极理论而费尽心血。在这条道路上，他是异常孤独的，因为当时其他科学家大都宁可去研究那些看似可解的问题。

那个爱因斯坦梦寐以求的终极理论，常常被称为"万有理论"。这个概念很容易被误解。因为这类公式不可能真的适用于世界上一切事物的测算：正如我们在第4章中读到的那样，这在原则上是不可能的。任何计算都无法彻底破译盘根错节到极致的自然世界；哪怕我们掌握了天气所遵循的公式，也难以得出可靠的气象预报。而且，物理理论并不是反映真实世界的照片，而更像是建造这个世界的蓝图。一张建筑蓝图不可能把楼梯间里的每一根钉子都画出来。

爱因斯坦所追寻的万有理论就像是建造整个宇宙的蓝图。这张蓝图规划了真实世界的布局，从中可以得出自然规律的框架和适宜人类生存的世界的结构。这个万有理论还应当能够解释诸如空间是三维的等事实，说明它不是二维也不是四维的。另外，它还应当能够说明宇宙的大小和形状。唯此，我们才能得以认识人类自身以及人类在宇宙中的地位。

爱因斯坦孤独的搜寻并没有什么结果，可他从未停止再次出发的脚步，只为寻找一个能比现存物理学更全面地阐释自然世界的理论。在这个过程中，他一次又一次地否定自己的想法。1938年，他在一封信中写道："我以智识创造的孩子绝大多数都早早夭折了，它们被埋葬于失落的希望之中。"直到他于1955年逝世，也未能离万有理论更近一步。

他之所以未能成功地得出万有理论，是因为他的理论只尝试了统一四大基本自然力中的两个，即电磁力和万有引力。而原子核中的强相互作用力和弱相互作用力，在当时尚未被学界广泛研究，同样也没有得到爱因斯坦的

注意。但是，假如不考虑这两种力，就无法理解物质如何形成形状和质量，为什么会有不同的基本粒子，以及恒星为什么会发光。此时的爱因斯坦就好比一位才刚刚熟悉欧洲海岸，却想要绘制大西洋海图的制图师。

宇宙发展成如今的样子是必然吗？单凭20世纪的认识根本不可能解答这个谜题。所以就算上帝在创造世界时确实做了选择，我们也无从知晓上帝的动机是什么。即便世人并不看重爱因斯坦后来所做的努力，他还是一如既往地提出了一个恰如其分的好问题。

爱因斯坦几十年来对于万有理论的孤独追寻几乎已被淡忘——直到宇宙学家又开始好奇，为什么宇宙可以如此浩大，同时又如此单一。

无论我们望向夜空的哪一个方向，看到的景象都是相似的：遥远的恒星和各大星系就像是通过撒盐器小心翼翼地均匀地撒在宇宙中，各处的明暗都是近似的。更令人震撼的是宇宙微波背景辐射的均匀有致，这些宇宙大爆炸后原初之光的余晖以几乎相同的波长从四面八方来到地球。根据宇宙微波背景辐射图可得知，各方向辐射波长的差异低于万分之一。显然，根据我们目前的观测结果，宇宙中的各处不是到了今天才变得相似的——它从一开始就一直这样均匀地分布着。

宇宙的这种均匀有致恰恰揭示了地球的出现并非意外。宇宙中，行星和恒星无处不在，同样的自然法则无处不在，在过去与现在，都是如此。这一切远远比地球的出现惊人得多。相邻的地点更容易获得相似的环境，因为它们之间往往可以相互“沟通”。但是，东边的夜空要怎样了解西边夜空的环境特性呢？

宇宙的浩瀚使一切沟通都变得困难。信息的传递不但在操作层面无法实现，在理论上也是不可能的。假设，现在在距地球100亿光年的东边和距地球100亿光年的西边，都有星系的光线到达地球，那么两个星系之间的距离共有200亿光年。但由于宇宙的年龄只有138亿年，所以这些光历尽宇宙的整个生命周期都无法从这头的星系到达那头的星系。而且，鉴于没有任何事物的传播速度能够超过光速，两地之间任何形式的交互也都是不可能的——从一开始就是如此。但那些抵达地球的光线证明，东边天空上的星系与西边天空上的星系有着相同的环境。这种一致性是相当奇特的，就好像哥伦布首次抵达新大陆时，发现那里已经有了穿着欧式衣服还说着西班牙语的人。

1980年，来自莫斯科和波士顿的宇宙学家同时分别发现了能够解开上述问题的理论：如今的整个可见宇宙曾经就是近邻。我们现在看来相隔了几十

亿光年的所有地方，曾经都紧紧地挨着彼此。因此，信息的交互在当时是完全可能的，它们也得以拥有相似的环境与状态。随后，这些比邻之地才倏忽之间四散开去。这一切都发生在宇宙诞生后体量暴增的阶段——这个阶段就是暴胀。

如果认为暴胀仅仅是宇宙的“爆炸”，那就太小瞧它了。爆炸是能够通过高速摄像机拍摄到的，而且有一个中心点，一切都从这个中心向外迸发。随着爆炸的巨大声响变弱，飞往各处的残片就减速了。

但宇宙大爆炸以后发生的一切和所谓的爆炸完全不是一回事。暴胀没有中心，是整个空间的膨胀。整个暴胀持续时长小于10^{-27}秒，而在这短到极致的时间里，空间膨胀的速度极大，足以达到该点原始大小的至少10^{27}倍。（假如将本书的一个句点按照这个倍数放大的话，其直径足以达到地球和仙女座星云的间距。）而另一些版本的暴胀理论甚至认为宇宙膨胀的倍数高达$10^{10^{10}}$。（假如将句点按照这个倍数放大，如今人类可见的宇宙也要装不下它了。）随后，这疯狂的暴胀结束了，整个宇宙以相对缓慢的速度慢慢地膨胀，直至今日。因此，如今宇宙的浩瀚和均匀有致都得益于暴胀，是它创造了人类生存所需的诸多条件。

暴胀以前的世界是微观的世界，我们如今所见的整个宇宙都挤在一个比原子核还小的空间里，这一结构完全符合量子物理学这个关于最小微粒的自然法则。而无法根据量子物理学的法则进一步解释的偶然事件也是存在的，比如第5章中格洛克探员所经历的那个故事。

暴胀理论认为，可见宇宙在暴胀发生后的直径大概与柚子相当。这与宇宙如今的体量相比虽然极小，但实际上却意味着一次巨大的飞跃，因为经历了这一变化的宇宙形成了宏观世界。由于这个宇宙还在不断扩大，因此各个区域之间的距离也变得越来越遥远。那些在暴胀以前相互联结的区域，从此以后永远地断了联系。自那时起，共同的“此刻”也就不复存在了。但那个可见宇宙中的一切曾彼此联结，这个事实不会改变：如今夜空中的每一点星光，都曾是同一个微观世界的一部分。这也就解释了为何宇宙中任何一处的情景都看起来彼此相似。

必须承认，这样的情景听起来像是异想天开，而能够直接证明宇宙暴胀的证据也尚未出现。至于是什么引起了宇宙暴胀也不得而知。暴胀是在由被宇宙学家称为“暴胀子”（inflaton）的粒子作用下发生的，但没有人知道这个暴胀子到底是什么。

不过，暴胀理论与最新观测结果惊人地吻合，因此，只有少数宇宙学家仍

对暴胀理论抱有怀疑态度。微观世界在如今这个万有宇宙中仍留有痕迹，从本书19页的宇宙微波背景辐射图中就可以看出这些痕迹的分布。这是前不久由普朗克卫星发回地球的精密拍摄图，它显示了宇宙微波背景辐射各处细微起伏的差异，描绘了这个世界最初的光的图像。这是量子涨落（quantum fluctuation）的典型模式——在原子或更小的尺度内能量的偶然变化是不可避免的。当宇宙突然膨胀时，这种涨落也随之扩大到了宇宙级别——就好比在人吹气球的过程中，印花气球上极其细小的字符随之变得像海报上的加粗字体那么大，宇宙最初的纹路就这样印在了宇宙微波背景辐射之上。这就像是宇宙的一个剪影，记录了它在经历暴胀剧变之前的状态，这张剪影也将长久地闪耀在夜空中。

量子涨落，这种来自时间源头的细微能量波动不仅产生了宇宙微波背景辐射的图案，还赋予了宇宙以形态。暴胀的过程使量子涨落增大到宇宙级别，变成了巨大的冲击波。这决定了宇宙中物质的分布情况，以及未来在何处会出现恒星。在这些恒星的光芒中，我们可以收到来自另一个世界的信号：那是隐藏在原子中的宇宙，是如今的宇宙在极其精微时的模样。

假如上帝在创造世界时做了选择，那么这个选择一定是在暴胀的瞬间做出的。在这期间，微观宇宙在量子涨落的作用下转化为宏观宇宙，并逐渐成形。同时，宇宙的各项特性也被写就了，正是因为有这些特性才最终促成了生命的诞生。

诡谲的是，暴胀理论可以得出一个重大结论：不同的量子涨落会产生不同的构造，这些构造都能膨胀到宇宙级别——所有这些构造都可以分别形成一个宇宙，而且每一个都有着不同的特性。甚至在由不同的量子涨落形成的不同宇宙中，有可能存在不同的自然法则。那么，我们的宇宙及其法则仅仅是诸多宇宙与诸多法则之一，其他宇宙中的情况也与我们的宇宙截然不同。于是，为了回答爱因斯坦的提问，暴胀理论是在反问：难道上帝必须做出选择吗？恐怕他根本就不需要做任何决定，因为他可以把一切可能的选择都尝试一遍。

这些不同宇宙的多样性就像是从云中飘落的雪花。雪花的形状与云朵当时的内部环境息息相关。由于云朵中的温度、湿度和风速一直在发生随机变化，产生的雪花也就形态各异。同理，微观宇宙中由量子涨落催生的多重宇宙也各不相同。其中可能有二维甚至九维宇宙，也可能存在万有引力压倒一切的宇宙，还可能有一些完全不包含任何物质的宇宙。这种各类宇宙的集合被称为“多重宇宙”。在多重宇宙中，我们自己的这一个仅仅是它极微小的一部分，就像是隐没在茫茫雪原中的一片雪花。

形式各样的宇宙在创生，同时许多宇宙也在覆灭，这一点也像极了雪花。而多重宇宙本身是永恒的，它源源不断地创造各种宇宙，其中大多数并不适宜生命居住。但由于多重宇宙尝试了所有可能，因此必然也会存在像我们这样的宇宙，也只有这样的宇宙才是生命的栖居之处——它为那些善于思考自身起源的生灵提供了家园。所以，不必因为这个看似为我们量身定制的宇宙而感到讶异，亦不必奇怪：在任何其他宇宙中，又是一番完全别样的景象。

我们不知道，是否真的存在其他宇宙，暴胀理论的预言是不是真实的。就我们自己的这个宇宙而言，人类也只能看到极细微的一部分，它的大部分都还是人类未知的。所以，我们又怎能知道在这个宇宙之外存在着什么呢？

是否真的有可能存在宇宙之外的空间？这要看我们对于“宇宙”这个词是如何理解的。假如，我们认为这个词指的是一切存在的事物，那么“宇宙之外”就是一种自相矛盾的说法。但我们也可以把“宇宙”视作空间、时间、能量和物质相互联结的整体，那么这类构成就可以重复出现。或许，除了我们的宇宙，真的存在其他宇宙；或许，创生了我们这个宇宙的大爆炸并不是一切事物的源头；或许，我们的宇宙只是一个曾经存在的宇宙的再生品——对于这一切，我们一无所知。

显然，我们的认识不会就此止步。那些认为仅凭这类知识的最新进展就已经可以对问题盖棺定论的人，不过是在骗自己。毕竟，我们对于宇宙的探究才刚刚开始。差不多400年前，伽利略才第一次用望远镜展望天空。大概100年前，科学家还认为整个宇宙中只有银河系。而如今我们知道，仅仅是可见宇宙中的星系估计就有近2万亿个，比之前估算的多了十几倍。就在过去的50年间，人们才渐渐认识到我们的宇宙并不是一开始就存在的，它也有一个开端。直至今日，我们想通过宇宙透露的信息完全领悟人类及宇宙起源的奥秘，仍是几乎不可能的事情。

弗拉马里翁木版画中的旅行者冲出了自己的视野，看到了一个更广大的真实之境，感受到了那份不曾被人察觉的美。他体验了地球的种种魅力，身后是城镇、山丘、江河湖海、撩人的花香，举目是万丈阳光和璀璨星辰。但他知道，自己感受到的这些都只是事物的表面，眼前的一切都只是那更广博、更丰盈世界的一隅。他想要了解宇宙的真实本质。

我们正站在这位旅行者旅程的起点上。我们发现了宇宙不仅仅是已知的空

间、时间、能量和物质，我们也知道了真实世界与它的表象截然不同。在我们的视线之外，一定还有更为广博的真实世界，那便是我们启程的目的。只要人类能够穷尽智慧并继续保持繁衍生息，就一定能够接近这个神秘之境，得到我们从何处而来的答案。

附注

第1章

埃德加·爱伦·坡对科学所表现出的轻蔑令人震惊，因为他本人就曾深入地研究了宇宙学，并有所创见。他在出版于1848年的作品《我发现了》（*Eureka*）中，超前地提出了许多后来被证实为科学的设想。他当时就认为宇宙是由大爆炸产生的，且还在不断膨胀中。这部作品也回答了本书第9章关于黑暗夜空的问题。难道他并不认同自己对于物理学的热爱？

2000年，那位在慕尼黑文学馆活动中反驳我的人所担忧的问题是，人类会被遗传学完全解码，从而变得无趣。但这个问题恰恰令我们发现了，每次解开一个问题后，科学都会抛给我们十几个新的问题。例如，几年前非常轰动的研究成果已得出生物体的生活环境对其基因功能的改变程度，背后的机理异常复杂且大多处于未知的状态。而且，科学家几乎不可能将人类的生活环境完全控制在实验室环境内，并以此创造一个玻璃般透明的人。

理查德·费曼生于1918年，逝世于1988年。他是20世纪最全才的物理学家之一。1965年，他凭借解释了基本粒子创生和毁灭的量子场论获得了诺贝尔物理学奖。关于氧在大气中的富集过程，莱昂斯（Lyons）、莱因哈德（Reinhard）和普拉那夫斯基（Planavsky）曾著有论文，详见《自然》（*Nature*）第506期，307—315页（2014年）。关于蓝细菌的感光性，详见许尔格（Schuerger）等人发表于*eLife*第5期（2016年）中的文章。

将知识比作未知海洋中一座孤岛的说法出自奥地利裔美籍物理学家维克托·魏斯科普夫（Victor Weisskopf，1908—2002）。他以在理论核物理方面的研究工作而闻名，“二战”后反对核武器实验。

英国生物学家约翰·伯顿·桑德森，又名J.B.S.霍尔丹，生于1892年，逝世于1964年。他创立了群体遗传学（population genetics），为进化论奠定了现代科学的基石。此外，他还是一位高产的作家，曾发表与出版过政论文章、科普著作和童书。1956年，他因抗议英国政府在第二次中东战争中的作为而迁居印度。在印度加尔各答，他出任印度统计研究所的研究主任，并在那里度过了余生。

第2章

两位来自柏林的学生已经证实，宇宙微波背景辐射能通过建材市场上买得到的材料接收到。蒂莫·斯泰因（Timo Stein）和克里斯托弗·弗尔斯特

（Christopher Förster）甚至成功使用改装过的圆盘式卫星天线测量了宇宙微波背景辐射。他们在《繁星和太空》（*Sterne und Weltraum*）2008年7月刊中介绍了这一装置。

宇宙膨胀的速度可以通过遥远星系远离地球的速度确定。这个超过光速的速度并不违背狭义相对论。狭义相对论只是指出，在静态空间内运动时，没有任何物体可以超过光速。但在宇宙膨胀的案例中，空间本身也在发生变化。

第3章

光速并不是无穷大的，这一点天文学家早在18世纪就已明确。1729年，英国天文学家詹姆斯·布拉德雷（James Bradley）注意到，为了对准他上方的一颗星星，他需要把望远镜稍微倾斜一些。这就像是，猎手要想让子弹击中奔跑着的兔子，就得将准星稍微往前瞄一点。（除非子弹速度无穷大，猎手才可以直接对准这只兔子。）这种光线无法解释的偏差，布拉德雷将之归因于地球绕太阳的运动以及光速的有限性。令人惊奇的是，他给出的光速恰恰是每秒301000千米。不仅如此，星光抵达地球的速度一直保持不变，来自那颗星星的光线仿佛完全无视了地球现在正在朝着它运动，而到了一年中的晚些时候，地球又在远离它。这在当时实在是令人瞠目结舌的发现。

光的波动说可以很好地解释诸如光的干涉和衍射这类现象，但是这个理论很快又陷入了危机，因为没有人能说明光波的本质属性。于是，19世纪的物理学家几乎出于绝望而提出，有一种极细小的微粒充满了整个宇宙空间，这种微粒被称为“以太”（Ether）。他们认为，以太的振动会产生光线。不过，在1881年的时候，阿尔伯特·迈克耳孙（Albert Michelson）的实验从本质上终结了以太的时代。在他于波茨坦进行的著名实验中，他将一束光送往北方，另一束光送往西方。假如以太存在的话，那么地球在绕太阳运行时，就会在东西方向上碾压以太。那么与往北发射的光线相比，往西的光线会因为受到阻力而减速。但是迈克耳孙的实验表明，两束光线的速度一致，那么，以太就不可能存在。美国化学家爱德华·莫雷（Edward Morley）于1887年通过改良实验重做了迈克耳孙的实验，再次验证了这一结论。

有一幅画是关于诺贝尔奖评审委员会给爱因斯坦颁奖的，颇具启发性，由罗伯特·弗里德曼（Robert Friedman）绘制并发表于《欧洲物理学新闻》（*Europhysics News*）第36期（2005年）中。

通过两道一前一后运动的闪电以及静止不动的观察者来解释狭义相对论，是从爱因斯坦本人处借鉴的。他用了一个类比：一辆火车向着其中一道闪

电疾驰，而远离另一道闪电，对火车上的乘客而言，这两道闪电是一前一后击落的，而在铁轨边上的观察者看来，这两道闪电是同时出现的。

在静止的观察者眼中，运动物体的时间会发生延展，为了更好地理解这一点，可以了解一下著名的双生子佯谬：双胞胎姐妹中的一个出发前往遥远太空，归来时是正当最好年华的女人。但她留在地球上的双胞胎姐妹已然成为老妪，原因是，太空旅行者的心跳变慢了，她的一天变长了，她的白发也长出来得更晚了。虽然对两姐妹来说，光子的速度都是不变的，但是在地球上的观察者看来，由于太空飞船本身的运动，飞船内的光线走过了更长的路程，而又由于光子的速度不变，飞船中旅行者的时间就流逝得更慢了。

质量等同于能量，爱因斯坦对自己的这一发现也抱有怀疑态度，他在给瑞士物理教师康拉德·哈比希特（Conrad Habicht）的信中写道："这一发现是不是上帝对自己的愚弄呢？"这一对挚友相识于瑞士沙夫豪森，当时是1901年，爱因斯坦正靠着家庭教师的收入度日。自那时起，哈比希特和爱因斯坦开启了长达一生的友谊。

第4章

皮埃尔·西蒙·拉普拉斯凭借其努力，为概率的运算和分析奠定了基础。他证明了行星运行的轨道是稳定的，在那之前这还是个存疑的观点。此外，他还曾出任拿破仑的内务部长，但因为就职期间学究气过重，6周后就被拿破仑解雇了。

对薛定谔方程感兴趣的读者可以了解一下如下方程：

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(r,t)=\hat{H}\Psi(r,t)$$

这个方程显示了N粒子系统波函数$\Psi(r,t)$如何随时间而演化的。通过薛定谔方程解出的波函数，可以完整地描述该系统的量子力学状态。例如，通过这个波函数可以导出每一个粒子的概率密度（probability density）。

方程中的i为虚数单位，$\hbar$为约化普朗克常量，r为粒子N的位置向量，其

中$r=(r_1, r_2, \ldots, r_N)$，t仍代表时间，$\frac{\partial}{\partial t}$则是相对于时间的偏导数。$\hat{H}$为这个N粒子系统的哈密顿（Hamilton）算符，由N_e个电子和N_A个原子核组成：

$$\hat{H} = -\sum_{i=1}^{N_e} \frac{\hbar}{2m} \nabla_i^2 - \sum_{\alpha=1}^{N_A} \frac{\hbar}{2M_\alpha} \nabla_\alpha^2 - \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{\alpha=1}^{N_A} \frac{Z_\alpha e^2}{|r_i - r_\alpha|} + \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{i} \frac{e^2}{|r_i - r_j|} + \sum_{\alpha=1}^{N_A} \sum_{\beta=1}^{\alpha} \frac{Z_\alpha Z_\beta e^2}{|r_\alpha - r_\beta|}$$

m为电子的质量，e为电子电荷数。M_α为第α个原子核的质量，Z_α表示其质子数。Δ_i为微粒i的坐标导数。其中，第一组数字描述的是电子的动能，第二组数字描述的是原子核的动能，第三组数字指代电子与原子核的库仑相互作用（Coulomb interaction），第四组指代电子间的库仑相互作用，第五组指代原子核间的库仑相互作用。由于在日常条件下相对论效应并不显著，因此已省略。为了清楚起见，非相对论的万有引力和电磁辐射作用也已被略去，但完全可以补充进去，没有任何问题。以任意时间点为初始条件并借助薛定谔方程和波函数，可以确定微粒系统的状态。

克劳德·香农（1916—2001）为信息论奠定了基础。他本人是一位异常全才的研究者。21岁时，他就奠定了集成电路的基础，集成电路是现代计算机技术的基石。“二战”期间，他投身密码学研究，并于1950年打造了一只能够走迷宫的电动机械鼠，这算是史上第一个具备学习能力的智能机器人。空闲时间，他的消遣项目有独轮车骑行、杂耍，并依靠博弈论在拉斯维加斯赌场玩二十一点（Black jack，又名黑杰克），还大赚了一笔。关于下棋计算机可能性的思考，他发表于《伦敦、爱丁堡、都柏林哲学杂志及科学期刊》（*The London, Edinburgh And Dublin Philosophical Magazine And Journal of Science*）第41期（1950年）中。

关于洛萨飓风预报的失误分析，详见马杰夫斯基（Majewski）等人发表于《月度气象评论》（*Monthly Weather Review*）第130期（2002年）中的文章。

第5章

处于纠缠状态的两个相距甚远的观察者，在有关量子力学的专著中通常被称作艾丽斯（Alice）和鲍勃（Bob），侦探故事中的阿斯派克特夫妻借用

的就是这两个名字。

阿兰·阿斯派克特，生于1947年，目前就职于巴黎第十一大学（Université Paris-Sud）的光学实验室。关于将互相纠缠的光子从加那利群岛的某一岛屿发射到另一座岛屿，或者从奥地利发射到中国的实验可追溯到安东·蔡林格（Anton Zeilinger），他生于1945年，也是一位量子光学的先驱。除诺贝尔奖以外，阿斯派克特和蔡林格均斩获了物理学界的其他所有重要奖项。

量子纠缠在自然界中无处不在，每当任意粒子以任意形式发生相互作用后，这种现象都会发生，且不受控。在本书所描述的实验中，量子纠缠是在人为控制下生成的。生成这种量子纠缠最简单的方式是，将激光光束射入特殊晶体中，比如硼酸钡晶体，晶体内的原子受激光照射后，会将射入的激光光束一分为二。其中一束光线中的光子会和另外一束光线中的光子一一配对，形成纠缠光子对。

自旋是基本粒子的一种特性，且不存在于经典物理学中。借助德裔美籍物理学家奥托·施特恩（Otto Stern）和德国物理学家瓦尔特·格拉赫（Walter Gerlach）于1922年在法兰克福发明的实验装置，可以测得电子及其他带质量粒子的自旋方向：粒子射出后会经过一个磁场区域，由于自旋粒子与磁场的作用，这些粒子会发生向上或向下的偏转。此外，光子的自旋方向可以通过偏振滤光器（polarization filter）进行确定。

在阿斯派克特的实验中，处于纠缠态的两个光子自旋方向刚好相反。也就是说实验的测量结果为，其中一个光子的自旋向上，而另一个光子的自旋向下，或者反之。

也许有人猜想，处于纠缠态的粒子间传递影响作用的速度超过了光速，因此量子纠缠与狭义相对论相违背，因为狭义相对论规定任何形式的传播速度都不会超过光速。不过，两者其实并不矛盾。狭义相对论所提的影响作用是指，之前发生的已知事件触发之后事件的发生，但在量子力学之中，没有任何事件是事先已知的。事件的发生是随机的，而且只有在这个系统被测量的时候才知道其状态。因此，两个观察者，我们暂且称他们为甲（Alice）和乙（Bob），是无法通过处于纠缠态的粒子沟通的。因为，只有当甲进行测量时，才能确定粒子状态，但甲只知道乙也会获得相同的结果。甲没有办法操纵粒子，故而也无法在那之前预言乙会得到什么样的结果，而且，甲甚至也无法在测量之前知道自己会测出什么结果。因此，鉴于甲自己也不知道将会发生什么，故而，甲无法对乙施加影响。因此量子纠缠是无法传递任何影响作用的，相对论仍成立。

约翰·贝尔，生于1928年，就职于日内瓦的欧洲核子研究组织，研究粒子

物理学。1990年，他死于脑溢血。就在这一年，他获得了诺贝尔奖提名。

侦探故事中提出的三个问题恰好对应处于纠缠态的两个粒子自旋角度都分别相差120度的情况。因此文中探员格洛克推导出来的结果与贝尔推演出来的结论完全符合：假如存在隐藏计划，那么概率的测算结果应该为5/9，而没有这类计划的情况下，概率应为1/2。

认为空间是通过量子纠缠形成的，这种想法源于弦理论。弦理论是过去几十年常被讨论的一个话题，其目的是统一量子力学和相对论。美国弦理论家胡安·马尔达西那（Juan Maldacena）和李奥纳特·苏士侃（Leonard Susskind）是时空（spacetime）形成于量子纠缠这一观点最知名的支持者，内容详见马尔达西那和苏士侃发表于《物理学的进展》（*Fortschritte der Physik*）第61期中的文章。

本章侦探故事的脚本出自索菲·斯特劳斯（Sophie Strauß）。

第6章

人类体会到的真实只是后人类文明计算机创造的虚拟现实，这种观点在牛津当代哲学家尼克·博斯特罗姆（Nick Bostrom）的影响下已大行其道。博斯特罗姆的相关论证已发表于《哲学季刊》（*The Philosophical Quarterly*）第53期（2003年）中。

佛教对于真实之境的看法在其教义中已有描述，并于之后得到了发展。其核心概念为“Śūnyatā”，这一梵文词汇被翻译为“空性”。具体参见西谷启治（Nishitani Keiji）的《宗教与虚无》（*Religion and Nothingness*），该书出版于伯克利的加利福尼亚大学出版社（The University of California Press, Berkeley），出版时间为1982年。

在西方古典哲学方面，提图斯·卢克莱修·卡鲁斯（Titus Lucretius Carus）的提法是“影像”（simulacren），这反映了公元前1世纪盛行的认识论。影像是指从一切物体最外层剥离的纤细薄膜，会在人类的眼中留下投影。卢克莱修在他的哲理长诗《物性论》（*De Rerum Natura*）中阐释道，我们的感觉就是这么形成的。

20世纪的各大电影制片厂紧紧抓住了这个概念。早在《黑客帝国》之前，赖纳·维尔纳·法斯宾德（Rainer Werner Fassbinder）就拍摄了电影《电路世界》（*Welt am Draht*，又名《世界旦夕之间》，1973年），影片中人们发现世界只不过是一个影像——是计算机制造的幻觉。另外值得一提的是，《黑客帝国》的主人公尼奥将他的非法软件藏在一本书中，那本书是法国哲学家让·鲍德里亚（Jean Baudrillard）的著作《拟像与仿真》

（*Simulacra & Simulation*）。

欧内斯特·卢瑟福对于启动链式反应将“使昔日的世界灰飞烟灭”的忧思由理查德·罗兹（Richard Rhodes）记载于《原子弹出世记》（*The Making of Atomic Bomb*，1986年）中。注

同所有其他实验数据一样，测量基本粒子的尺寸时也需考虑检测极限。目前的检测极限为10^{-18}米，在这一范围之内，就可以排除这些基本粒子占据体积的可能。目前常见的学说认为基本粒子为点状。

希格斯场就是所谓的标量场（scalar field）。标量场内的每一个点都有唯一对应的数字，比如，房间内的气温分布就可以用标量场来表示。除希格斯玻色子以外，所有其他的基本粒子都必须用旋量（spinor）或矢量（vector）场来表示——这些粒子具有动量和某种内在取向，即自旋。希格斯玻色子却不具备这种特性，因此它在本质上是一种新型粒子。至于是只有一种希格斯玻色子，还是存在许多种类，目前尚无定论。

莱布尼茨关于虚无的思考，记录于他的作品《建立于理性上之自然与恩惠的原理》（*Vernunftprinzipien der Natur und der Gnade*）中。

第7章

引力透镜Abell 1689是由暗物质的直接作用形成的，而爱因斯坦十字架是由暗物质的间接作用形成的：在Abell 1689的案例中，改变其背后星光轨迹的是暗物质本身；而爱因斯坦十字架的形成主要得益于集中于其星系中心的许多恒星，这些恒星的引力作用使其背后类星体的光线发生衍射，从而形成爱因斯坦十字架。但诸多恒星能够如此紧密而稳定地集中于星系中心，还是得益于庞大暗物质团的笼罩。详见特罗特（Trott）等人在《英国皇家天文学会月报》（*Monthly Notes of the Royal Astronomical Society*）第401期（2010年）中的文章。

在《天体物理期刊通讯》（*Astrophysical Journal Letters*）第826期（2006年）中有关银河系“同胞兄弟”暗银河的描述，作者是多克姆（Dokkum）等人。

《核与粒子科学年评》（*Annual Review of Nuclear and Particle Science*）第54期（2004年）中有一篇论文评估了持续抵达及穿越地球的暗物质的数量，作者是盖茨克尔（Gaitskell）等人。

丽莎·蓝道尔和马修·里斯（Matthew Reece）将他们的理论发表于《物理评论快报》（*Physical Review Letters*）中。另可参见丽莎·蓝道尔的著作《暗

物质与恐龙》（*Dunkle Materie und die Dinosaurier*），该书在2016年出版于美因河畔法兰克福。蓝道尔等人提出的彗星周期性撞击地球的论说颇受争议。就职于海德堡马克斯—普朗克天文研究所（Max Planck Institute for Astronomy）的科学家已于2011年得出结论，彗星撞击地球的频率看似是周期性的，但其实是由数据收集过程中的人为因素导致的，两者并不存在什么关联性。

曾令拉比和他的同事气恼的奇异粒子就是渺子，渺子的生命周期只有百万分之几秒。在通常情况下，渺子对于物质特性的影响不大，但它的发现颠覆了当时还相对简单的粒子物理学基本模型。而在如今的粒子物理学基本模型中，渺子已经有了它的一席之地。

爱因斯坦虽然相信宇宙是静态的，但是他也认识到了，根据他的广义相对论场方程，宇宙其实是在不断膨胀的。因此，他在自己的场方程中增加了一个常数，来抵消这种膨胀。这个常数所描述的是真空的压力，也就相当于今天所说的暗能量。但爱因斯坦很快又意识到该宇宙常数的加入并不能满足自己对静态宇宙的期望。也就是说，这个调整过的方程仍然是不稳定的。只要代入的参数稍有变化，马上就会重新得出一个膨胀的宇宙。因此，他摒弃了这个假设。现在，我们已经知道，爱因斯坦的静态宇宙观点是错误的。

宇宙中暗能量的密度相当于每立方米中有七个质子的能量密度。因此，在相当于全世界所有大洋体积总和的真空内所包含的暗能量，还远远不及一滴水中所包含的能量。

第8章

在弱相互作用下的原子核裂变是基本粒子物理定律不受时间箭头影响的唯一例外。在裂变过程中，想要在时间箭头反向的情况下仍然保持物理定律不变性，必须同时满足空间镜像变换和物质—反物质变换这两个条件，这就是所谓的CPT不变性（CPT invariance）。这种现象非常神奇，但是在其他情况下并不显著。因此只要不涉及核裂变现象，物理定律是可以在时间箭头反向时保持不变的。

玻尔兹曼最猛烈的抨击者是维也纳物理学家恩斯特·马赫（Ernst Mach，1838—1916），这位物理学家为相对论力学开辟了道路。本书中把反对玻尔兹曼比作斗牛，这个比喻出自慕尼黑物理学家阿诺德·索末菲（Arnold Sommerfeld，1868—1951），他本人是原子物理学的开山鼻祖。

关于毛发变白的细胞学论文详见《科学》（*Science*）期刊第307期（2005年），作者是西村荣美（Emi Nishimura）等人。

热力学第二定律的表述方式有很多，德国著名物理学家马克斯·普朗克（Max Planck，1858—1947）的提法非常清晰易懂。该提法中有一处表述，其更确切的说法应该是“几乎永远不会”。系统的波动是可能导致熵的暂时减小的，但长期看来，这些波动不会对熵增造成影响。

第9章

假如宇宙在时间和空间上都是无穷的，那么夜空就不可能是黑暗的。这个论断由德国不来梅医生、天文学家海因里希·奥伯斯（Heinrich Olbers）于1823年提出，因此被命名为奥伯斯佯谬。开普勒当时已经认识到了这一事实。奥伯斯的表述是基于宇宙中发光天体极多且均匀分布的前提条件之上的，因此这一佯谬无法通过所谓氢云或星尘吸收了光线的答案得到解决。根据英国天文学家约翰·赫舍尔（John Herschel，1792—1871）的观点，热平衡在一段时间后是一定会出现的，云团吸收了多少光能，就会释放多少光能。

埃德温·哈勃在美国洛杉矶附近的威尔逊山天文台（Mount Wilson Observatory）差不多工作了一辈子。在他1929年刚入职天文台时，天文学家还以为整个宇宙仅仅由银河系组成。直到哈勃之后，人类才认识到除了银河系外，还有许多河外星系。哈勃于1922年至1923年得到了这一划时代的发现，即仙女座星云（Andromeda Galaxy，现名仙女座星系）这类遥远的天体，不可能是银河系的一部分，因为它们离地球的距离实在是太远了。六年后，他确定了遥远天体光线的红移现象，并以此推测出宇宙在膨胀。为了纪念他的贡献，描述天体的视向退行速度与天体离地距离的关系的定律被命名为哈勃定律。

此外，哈勃还通过著名的多普勒效应来解释他的观测结果：多普勒效应指出，救护车的警笛声在远离观察者的过程中音调会变低，而靠近时音调则会变高。当光线从距离地球非常遥远但迅速运动的恒星向地球传播时，其波长的变化也是类似的。这个类比其实并不恰当，因为救护车是在空间中运动的，而恒星光线的红移是通过空间本身的膨胀来实现的。在这一点上，哈勃并未正确理解相对论。

虽然，哈勃开创性的成果为现代宇宙学奠定了基础，但是他本人并未获得诺贝尔奖，因为当时的评奖委员还无力为天文学的贡献颁奖。

宇宙曲率的计算是基于WMAP和普朗克卫星对于宇宙微波背景辐射的观测数据进行的。为此，科学家充分分析了宇宙微波背景辐射显示的微弱浮动，这就是所谓的量子涨落，它是由在宇宙微波背景辐射产生时释放的压力波产生的。这种压力波的波长可以根据早期宇宙中的音速推导出来，而当时的音速可以通过几个已知的自然常数得出。在此基础上，可以得出量

子涨落的真实幅度。然后，可以将计算出来的量子涨落大小与探测器发回的真实数据进行比较。如果宇宙是弯曲的，那么量子涨落就会像是被透镜扭曲了一般，比计算得出的预期结果更大或者更小。但事实上，计算结果和实际观测结果完全一致。由此可得出：宇宙是平的。

对于宇宙最小尺寸的估算有各种版本，参见《英国皇家天文学会月报》第413期（2011年）中由维丹扬（Verdanyan）、特洛塔（Trotta）和西尔克发表的论文。此外，卡斯特罗·杜斯皮（Castro Douspis）和费雷拉（Ferreira）在《物理评论D刊》（*Physical Review D*）第68期（2003年）中也发表了相关论文。另请参见约瑟夫·西尔克于2006年出版于慕尼黑的《几乎无尽的宇宙》（*Das fast unendliche Universum*）一书。

在随机性实验中，一些随机事件发生的概率会随着重复次数的增加而增加。借助掷骰子的例子并辅以数学运算，这样的认识不难理解。假设p为发生事件X的概率，并假设掷一次骰子时出现6的事件为事件X，那么，使用普通六面骰子时，p就等于1/6。相应的，发生其他事件的概率q就等于1-p＝5/6。随机掷n次骰子，但一次都没有6的概率是q^n，至少出现一次6的概率就为$1-q^n$，而随着n的增大，后者的概率就会越来越接近于1。同理，出现两次六的概率为1/36，之后的计算以此类推。根据这个指数型算式，单一事件发生的概率p就显得不再重要了。因为只要实验重复的次数n够大，则无论概率p有多小，只要它大于零，事件X发生的概率就接近于1。

焦尔达诺·布鲁诺在教会对其宣布审判结果后的反应，详见由安杰洛·梅尔卡蒂（Angelo Mercati）整理的有关该次宗教审判程序的资料，记载日期为1942年。

俄裔美籍宇宙学家亚历山大·维连金（Alexander Vilenkin）在现代物理学的框架下，对无穷大宇宙内的事件重复次数与该事件发生的必然性做了颇多思考。他将自己的思考成果融入了如今的暴胀宇宙学中，这在下一章中将有所提及。详见《物理评论D刊》第64期（2001年）中加里加（Garriga）和维连金的论文。

第10章

关于生命形成于海洋潮汐的滩地这一种说法，证据之一是目前已知最古老的单细胞生物化石遗迹被发现于沉积层之中，这些沉积层曾经是海滩以及海边低洼的水系。受到涨潮和蒸发的交替作用，有机体得以在此富集起来。另一种假说则认为，生命起源于深海热液喷口，但这种假说无法解释那些能够进行自我复制的小分子是如何集中到细胞内部的。

在沃德（Ward）和布朗利（Brownlee）于2005年出版的《地球殊异》（*Rare Earth*）一书中，他们详细地描述了地球上形成生命的条件的特殊性。美国数学家爱德华·贝尔布鲁诺（Edward Belbruno）和天体物理学家理查德·戈特（Richard Gott）则计算了年轻的地球与一颗原行星过于靠近而发生碰撞，并且在碰撞过程中飞出的岩石恰好形成月球的概率。这两位科学家的论文刊登在《天文学杂志》（*The Astronomical Journal*）第129期（2005年）上，该论文总结了关于月球创生的最新认识。

弗兰克和沙利文将他们估算生命诞生概率的论文刊登在《天体生物学》（*Astrobiology*）第16期（2016年）上。在该论文中，两位科学家有针对地探讨了在可见宇宙中存在具备先进科技的生命文明的概率。因为只有具备先进科技的文明才可能对外发出信号，我们人类才有可能接收到这种信号。不过，弗兰克和沙利文所使用的论据也完全可以用于估计任意生命创生的概率。此外，关于宇宙中存在许多具有宜居行星环绕的类日恒星的说法，具体解释请参见《美国国家科学院院刊》（*Proceedings of the National Academy of Sciences*）第110期（2013年）中佩蒂古拉（Petigura）和马西（Marcy）的论文。

此外，人类居住的太阳系在整个宇宙中可能算不上一个特别宜居的星系。正如我们所知，在太阳系中，只有地球这一个行星位于宜居地带，只有这里既有流动的水又有适宜的气候，因此地球才适合生物的形成和发展。而根据2017年2月的一项天文发现，距地球40光年的TRAPPIST-1星系含有至少三颗位于宜居带的行星，而这些行星上可能都存在生命。而且，只要在其中一颗行星上有生命的痕迹出现，其生物分子就有很大概率可以通过陨石传播到其他相邻的宜居星球上，因此，在这个行星系统内形成生命的概率会成倍增加。详见《美国国家科学院院刊》（2017年）中曼纳瓦·林加姆（Manavasi Lingam）与亚伯拉罕·洛布（Abraham Loeb）的论文。

宇宙中有些区域之间无法相互交流的问题，被称为视界疑难（horizon problem）。或许有人认为，宇宙膨胀理论可以解决视界疑难，因为早期宇宙中不同区域之间的距离要小得多，所以宇宙中区域之间在过去是可以相互影响的。但是，事实上，宇宙的膨胀反而使视界疑难更加费解，因为在过去，空间膨胀的速度要比如今快得多。在较早的时代——比如宇宙大爆炸的70亿年后——宇宙确实要比现在的小，两个星系之间的距离也比较近。但是，在那个时代，光线从一个星系抵达另外一个星系能用的时间也更少。比如，在以上这个例子中，能用的时间只有70亿年，这大致相当于如今光线能用的时间的一半。但是，当时两个星系之间的距离远不止如今的一半，因为在时间轴上距离大爆炸发生的时间点越近，宇宙膨胀的速度就越快。同理，时间越是往前追溯，两个星系分开的速度就越快。所以，如今那两个星系都尚且无法交流，从前要交流就更不可能了。

宇宙暴胀理论是一种场论。暴胀的程度取决于一种分布在空间中的物理量，这种性质不明的物理量就是暴胀场。对于其特性，我们只能进行一些泛泛的假设，也正因如此，学界有许多种暴胀理论。暴胀场中的粒子被称为暴胀子，是暴胀场的量子化激发。最通行的暴胀理论均认为暴胀场为标量场，类似于欧洲核子研究组织在2012年发现的希格斯场，相关描述详见本书第6章，希格斯场赋予了其他粒子以质量。有人推测，暴胀场与希格斯场这两种机制之间存在着紧密关联。

通过观测恒星光线来确定暴胀的特定参数的方法，详见斯隆数字巡天项目（Sloan Digital Sky Survey）。在这个1998年以来规模最大的巡天调查项目中，已借助自动化的天文望远镜测量了超过20万个星系的位置和光谱。暴胀理论恰恰能够最好地阐释所获得的观测数据。详见《物理评论D刊》第69期（2004年），作者是泰格马克（Tegmark）等人。

关于可见宇宙中星系数量的估计，详见《天体物理期刊》（*Astrophysical Journal*）第830期（2016年）中的一篇论文，作者是孔塞利切（Conselice）等人。

---

1. 该英译图书的日文来源为西谷启治出版于1961年的论文集《宗教是什么》（宗教とは何か）。
2. 中译本出版于1990年，世界知识出版社出版。

致谢

在成书的过程中，有交流探讨，有批评建议，也有支持鼓励，特此感谢诸位：弗兰茨-斯特凡·鲍尔（Franz-Stefan Bauer）、贝亚·贝斯特（Béa Beste）、乌尔丽克·巴托洛梅乌斯（Ulrike Bartholomäus）、沃尔克·弗尔菲奥·弗纳利（Volker FoertschAlfio Furnari）、加布里埃尔·霍夫曼（Gabriele Hoffmann）、本·摩尔（Ben Moore）、维察斯拉夫·穆哈诺夫（Viatcheslav Mukhanov）、彼得·奈珀茨（Peter Knippertz）、马蒂亚斯·兰德韦尔（Matthias Landwehr）、托马斯·德·帕多瓦（Thomas de Padova）、马丁·瑞斯（Martin Rees）、亚历山德拉·里戈斯（Alexandra Rigos）、埃夫斯特拉托斯·里戈斯（Efstratios Rigos）、沃尔夫冈·施奈德（Wolfgang Schneider）、尼娜·西勒姆（Nina Sillem）、赫伯特·瓦格纳（Herbert Wagner）以及史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）。